

**VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra elektroenergetiky**

**Návrh chránění rozvodny 22 kV v průmyslového podniku  
Design of 22 kV substation protection in the industrial plant**

**2018**

**Josef Mulka**

# Zadání diplomové práce

Student:

**Bc. Josef Mulka**

Studijní program:

N2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

3907T001 Elektroenergetika

Téma:

Návrh chránění rozvodny 22 kV v průmyslovém podniku  
Design of 22 kV substation protection in the industrial plant

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

1. Teoretický rozbor ochrany a jištění
2. Teoretický rozbor výpočtu zkratových proudů
3. Popis rozvodny vn průmyslového podniku
4. Popis ochrany navržených pro chránění rozvodny vn
5. Návrh nastavení ochrany řady Relion pro rozvodnu vn průmyslového podniku
6. Zhodnocení návrhu elektrických ochrany

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Janíček, F., Chladný, V. a kol.: Digitální ochrany v elektrizační soustavě. STU Bratislava, 2004.
2. Hradílek, Z.: Elektroenergetika distribučních a průmyslových sítí. Montanex a.s., Ostrava, 2008.
3. Dohnálek, P.: Ochrany pro průmysl a energetiku. SNTL, Praha 1991.
4. Haluzík, E.: Ochrany a automatiky v elektrických sítích. Skriptum VUT Brno, 1985.
5. ČSN EN 60909-0. Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách. Květen 2002.
6. ČSN 33 3051. Ochrany elektrických strojů a rozvodných zařízení. Listopad 1992.
7. Firemní literatura a katalogy, technická dokumentace rozvodny vn v průmyslovém podniku.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Dr. Ing. Zdeněk Medvec**

Datum zadání: 01.09.2017

Datum odevzdání: 30.04.2018

prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.  
vedoucí katedry



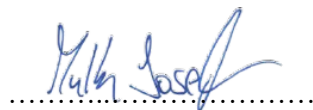
prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.  
děkan fakulty

## **Prohlášení**

*„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou/diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“*

*Datum odevzdání práce: 25/04/2018*

*V Ostravě dne, 22/04/2018*



.....

## **Poděkování**

*Rád bych poděkoval především Ing. Marku Tinkovi PhD. za cenné rady a odpovědi na nespočet otázek, které vyvstaly při tvorbě práce. Dále bych chtěl poděkovat doc. Dr. Ing. Zdeňku Medvecovi za vedení při zpracování práce.*

## **Abstrakt**

Tato diplomová práce se zabývá návrhem chránění elektrické rozvodny průmyslového podniku. Úkolem práce bylo vyřešit nastavení parametrů elektrických ochran REF 620, které byly v rozvodně M6 nainstalovány při modernizaci. Práce je rozdělena na dvě části - teoretickou a praktickou.

Teoretická část se zabývá problematikou výpočtů zkratů dle normy ČSN EN 60909, teorií elektrických ochran a jištěním v elektrickém obvodu. Speciální kapitola je věnována ochraně REF 620, kde jsou uvedeny ochranné funkce, které jsou v práci použity.

V praktické části je popsán průmyslový podnik a modernizovaná rozvodna M6. V této části jsou vypočítány maximální, minimální a průchozí zkratové proudy rozvodny M6. Dále jsou uvedeny jednotlivé výpočty nastavovaných parametrů ochran. Pro navrhnuté parametry elektrických ochran je proveden výpočet správnosti řešení, který je promítnut do finálního nastavení ochran.

## **Klíčová slova**

Průmyslový podnik, REF 620, Elektrická ochrana, Zkratové proudy, ČSN EN 60909

## **Abstract**

This diploma thesis deals with the design of 22 kV substation protection in the industrial plant. Main task of the thesis was to solve the protection parameters of the feeder protections REF 620, which were installed in the substation M6 after modernization. Thesis is divided into two parts: - theoretical and practical.

Theoretical part deals with the short-circuit calculations according to a norm ČSN EN 60909, theory of feeder protections and general protection in the electrical circuit. Special chapter is dedicated for feeder protection REF 620 where the functions which were used in the thesis are mentioned.

In the practical part the industrial plant and modernized substation M6 is described. In this part the maximal and minimal short-circuit currents of substation M6 are calculated. Subsequently, the calculations of the set parameters for feeder protection are given. For the set parameters, the accuracy of the solution is calculated, which is reflected into the final parameters setting.

## **Key words**

Industrial plant, REF 620, Feeder protection, Short-circuit current, ČSN EN 60909

## Obsah

1	Úvod.....	- 1 -
2	Zkratky .....	- 2 -
2.1	Časové průběhy zkratů.....	- 2 -
2.2	Výpočet zkratových proudů .....	- 4 -
2.3	Souměrné a nesouměrné zkratky .....	- 9 -
3	Teoretický rozbor ochran a jištění.....	- 10 -
3.1	Druhy poruch a jištění v rozvodu elektrické energie .....	- 10 -
3.2	Elektrické ochrany .....	- 13 -
3.3	Nadproudové ochrany .....	- 14 -
4	Popis ochran navržených pro chránění rozvodny 22 kV .....	- 19 -
4.1	Relion REF 620.....	- 19 -
5	Popis technologického závodu .....	- 24 -
6	Výpočet zkratových poměrů rozvodny .....	- 27 -
6.1	Maximální zkrat .....	- 27 -
6.2	Minimální zkrat.....	- 34 -
6.3	Průchozí zkratový proud .....	- 35 -
7	Nastavení ochran rozvodny M6 .....	- 40 -
7.1	Nastavení ochran přívodů a podélné spojky .....	- 40 -
7.2	Nastavení ochran vývodu.....	- 43 -
7.3	Nastavení start value multiplication (SM) .....	- 46 -
7.4	Kontrola oteplení vodičů při zkratu .....	- 47 -
7.5	Finální nastavení ochran .....	- 49 -
8	Závěr .....	- 51 -
	Použitá literatura .....	- 53 -
	Přílohy .....	- 54 -

## Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotka	Význam symbolu
$a$	-	Točivý operátor
$c$	-	Napěťový součinitel
$f$	Hz	Kmitočet
$I$	A	Proud
$I_{cT}$	A	Proud při zapnutí transformátoru
$I_p$	A	Popudový proud ochrany
$I_{max}$	A	Maximální dovolený proud kabelem
$I_{min}$	A	Minimální proud nastavení ochrany
$I_{rs}$	A	Rozběhový proud ochrany
$I''_k$	A	Počáteční souměrný rázový zkratový proud
$I''_{k2min}$	A	Průchozí zkratový proud
$I_{th}$	A	Ekv. oteplovací proud
$i_{ku}$	A	Ustálená složka proudu
$i_{kv}$	A	Stejnoseměrná složka proudu
$i_z$	-	Poměr záběrného k jmenovitému proudu
$K$	-	Koeficient materiálu vodiče
$k$	-	Citlivost závislé charakteristiky
$k_b$	-	Koeficient bezpečnosti
$k_c$	-	Koeficient citlivosti
$k_p$	-	Přidržený poměr relé
$L_k$	H	Indukčnost kabelu
$l$	m	Délka
$P$	W	Činný výkon
$p_i$	-	Převod proudového transformátoru
$U_m$	V	Nejvyšší napětí zařízení
$U_n$	V	Jmenovité napětí
$u_k$	%	Napětí nakrátko transformátoru
$R$	$\Omega$	Odpor
$R_{120}$	$\Omega$	Odpor vodiče při 20 °C



## Seznam použitých symbolů

$R_{V_{\max}}$	$\Omega$	Odpor vodiče při maximální teplotě
$S$	$\text{mm}^2$	Průřez
$SM$	-	Start Multiplier
$S_k$	VA	Sdružený výkon
$S''_k$	VA	Počáteční souměrný rázový zkratový výkon
$T_k$	s	Časová konstanta přechodového jevu
$t$	s	Čas
$t_{\text{nad}}$	s	Doba vypnutí nadřazené ochrany
$t_{\text{vyp}}$	s	Doba vypnutí ochrany
$t_{\text{max}}$	s	Maximální doba pro vypnutí zkratu
$t_{\text{od}}$	s	Doba odpojení
$m$	-	Činitel pro tep. účinky DC složky proudu
$n$	-	Činitel pro tep. účinky AC složky proudu
$R$	$\Omega$	Odpor
$X$	$\Omega$	Reaktance
$x_d$	$\Omega$	Synchronní reaktance
$x''_d$	$\Omega$	Rázová reaktance synchronního stroje
$Z_{(0)}, Z_{(1)}, Z_{(2)}$	$\Omega$	Impedance netočivá, sousledná, zpětná
$Z_k$	$\Omega$	Zkratová impedance
$\hat{Z}_k$	$\Omega$	Přepočtená impedance na hladinu zkratu
$3I>$	A	Nastavení nadproudového stupně ochrany
$3I>>$	A	Nastavení zkratového stupně ochrany
$3I2f>$	%	Nastavení záběrného proudu ochrany
$\alpha$	$\text{K}^{-1}$	Teplotní součinitel materiálu
$\varphi_k$	°	Úhel impedance
$\kappa$	-	Součinitel pro výpočet ráz. zkr. proudu
$\omega$	$\text{s}^{-1}$	Úhlová frekvence

## Seznam ilustrací a tabulek

<b>Ilustrace</b>	<b>Název ilustrace</b>	<b>Číslo stránky</b>
<i>Obr. 2.1 Stejnoseměrná složka [8].....</i>		<i>- 2 -</i>
<i>Obr. 2.2 Ustálená složka [8].....</i>		<i>- 2 -</i>
<i>Obr. 2.3 Průběh zkratového proudu [14].....</i>		<i>- 3 -</i>
<i>Obr. 2.4 Součinitel m pro tepelný účinek stejnosměrné složky zkratového proudu [10] .....</i>		<i>- 6 -</i>
<i>Obr. 2.5 Součinitel n pro tepelný účinek střídavé složky zkratového proudu [10] .....</i>		<i>- 7 -</i>
<i>Obr. 3.1 Pojistkový odpínač [5].....</i>		<i>- 11 -</i>
<i>Obr. 3.2 Pojistky VN [5] .....</i>		<i>- 11 -</i>
<i>Obr. 3.3 Jistič NN [5].....</i>		<i>- 12 -</i>
<i>Obr. 3.4 Výkonový vypínač VN [5] .....</i>		<i>- 12 -</i>
<i>Obr. 3.5 Charakteristiky nadproudových ochran [1] .....</i>		<i>- 15 -</i>
<i>Obr. 3.6 Vypínací schéma nezávislých nadproudových ochran [6].....</i>		<i>- 16 -</i>
<i>Obr. 4.1 REF 620 [9].....</i>		<i>- 19 -</i>
<i>Obr. 4.2 Základní rozdělení nadproudových funkcí REF 620.....</i>		<i>- 20 -</i>
<i>Obr. 4.3 Ošetření zapínacího rázu [9] .....</i>		<i>- 23 -</i>
<i>Obr. 5.1 Přehledové schéma průmyslového podniku.....</i>		<i>- 24 -</i>
<i>Obr. 5.2 Zjednodušené přehledové schéma rozvodny M6.....</i>		<i>- 25 -</i>
<i>Obr. 6.1 Náhradní schéma pro maximální zkrat.....</i>		<i>- 27 -</i>
<i>Obr. 6.2 Postup zjednodušení náhradního schématu.....</i>		<i>- 32 -</i>
<i>Obr. 6.3 Zjednodušené náhradní schéma.....</i>		<i>- 33 -</i>
<i>Obr. 6.4 Přehledové a náhradní schéma pro minimální zkrat .....</i>		<i>- 34 -</i>
<i>Obr. 6.5 Obecné náhradní schéma výpočtu průchozího zkratového proudu .....</i>		<i>- 36 -</i>
<i>Obr. 6.6 Transformátory rozvodny M6 kobky 3-16.....</i>		<i>- 37 -</i>
<i>Obr. 7.1 Vypínací char. přívodní kobky rozvodny M6.....</i>		<i>- 41 -</i>
<i>Obr. 7.2 Vypínací char. podélné spojky kobky 11 rozvodny M6.....</i>		<i>- 42 -</i>
<i>Obr. 7.3 Vypínací char. vývodních kobek s více transformátory rozvodny M6 .....</i>		<i>- 44 -</i>
<i>Obr. 7.4 Vypínací char. vývodních kobek s jedním transformátorem rozvodny M6.....</i>		<i>- 45 -</i>
<i>Obr. 7.5 Parametry zapojení dvou transformátorů za sebou.....</i>		<i>- 46 -</i>

Tabulka	Název tabulky	Číslo stránky
Tab. 2.1	Napěťové součinitelé pro výpočet zkratů [10]	- 5 -
Tab. 3.1	Rozdělení elektrický ochran	- 13 -
Tab. 3.2	Požadavky kladené na ochrany	- 13 -
Tab. 4.1	Parametry nastavení PHLTOC, 3I>	- 20 -
Tab. 4.2	Parametry nastavení PHHTOC, 3I>>	- 21 -
Tab. 4.3	Individuální nastavení pro každý stupeň nadproudové funkce [9]	- 22 -
Tab. 4.4	Skupinové nastavení funkce INRPHAR, 3I2f>	- 22 -
Tab. 4.5	Individuální nastavení funkce INRPHAR, 3I2f>	- 23 -
Tab. 5.1	Parametry a počet spojených transformátorů v rozvodně M6	- 25 -
Tab. 6.1	Parametry kabelů	- 28 -
Tab. 6.2	Parametry asynchronních motorů	- 29 -
Tab. 6.3	Parametry synchronních motorů	- 29 -
Tab. 6.4	Parametry kabelu 22-N2XS2Y	- 37 -
Tab. 6.5	Přepočítané parametry kabelů kobky 3-16	- 37 -
Tab. 6.6	Přepočítané parametry kabelů 22-N2XS2Y rozvodny M6	- 38 -
Tab. 6.7	Parametry kabelu 22-AXEKVCEY	- 39 -
Tab. 6.8	Přepočítané parametry kabelů 22-AXEKVCEY rozvodny M6	- 39 -
Tab. 6.9	Průchozí zkratové proudy rozvodny M6	- 39 -
Tab. 7.1	Nastavení nadřazené ochrany v kobkách E25-23/40	- 40 -
Tab. 7.2	Parametry přívodní kobky pro nastavení ochrany	- 40 -
Tab. 7.3	Koeficienty závislé charakteristiky	- 40 -
Tab. 7.4	Parametry podélné spojky	- 42 -
Tab. 7.5	Parametry kobky 3 a 16	- 43 -
Tab. 7.6	Hodnoty popudových proudů při nastavení ochrany na nadproud a zkrat	- 45 -
Tab. 7.7	Parametry transformátorů kobky 3 a 16	- 45 -
Tab. 7.8	Nastavení hodnot SM	- 47 -
Tab. 7.9	Parametry přívodního vedení	- 48 -
Tab. 7.10	Kontrola oteplení kabelů při zkratu	- 48 -
Tab. 7.11	Skupinové nadproudové nastavení jednotlivých terminálů	- 49 -
Tab. 7.12	Skupinové nastavení funkce INRPHAR	- 50 -
Tab. 7.13	Individuální nastavení všech ochranných funkcí	- 50 -
Tab. 8.1	Hodnoty průchozích zkratových proudů	- 51 -

# 1 Úvod

V dnešním světě moderních technologií je záruka dodávky elektrické energie do objektu standardem, který si většina běžných uživatelů neuvědomuje. Nicméně při jeho přerušení, pokud trvá dostatečně dlouhou dobu, může dojít ke katastrofálním následkům a to obzvláště v průmyslových závodech. Toto přerušení elektrické energie způsobí nejenom ekonomické ztráty, ale především zvyšuje pravděpodobnost výskytu úrazů osob v objektu. V provozu silnoprůdého elektrického rozvodu se mohou vyskytnout poruchové stavy, díky kterým následně může dojít k přerušení dodávky elektrické energie.

Jelikož v elektrické soustavě může dojít vlivem jedné menší poruchy k řetězové reakci, která naruší stabilitu celé soustavy, je nezbytně nutné tyto stavy eliminovat v jejich zárodku. Tyto poruchové stavy jsou elektrického, mechanického a tepelného charakteru. Při elektrické poruše vzniká namáhání a degradace izolace vodičů i ostatních elektrických zařízení. Tyto poruchy jsou typu zkratu, přetěžování, atmosferického přepětí, náhodné poruchy aj. Všechny tyto poruchy se v elektrickém rozvodu vyskytují nepravděpodobně a nahodile, tudíž je nelze zcela vyloučit.

Tato práce se zabývá návrhem chránění 22 kV rozvodny v průmyslovém podniku. Rozvodnu lze považovat za uzel elektrického rozvodu, kde jednotlivé vývody znázorňují větve. Pro chránění VN rozvodny se mimo základních jistících přístrojů používají také elektrické ochrany. Je tedy žádoucí navrhnout elektrické ochrany a jistící přístroje, které rozpoznají poruchu a dokážou co nejrychleji odpojit tu část rozvodného zařízení, na kterém porucha nastala. Při optimálním nastavení elektrických ochrany předcházíme dlouhodobému působení poruchy na zařízení.

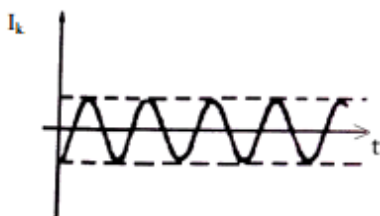
Hlavní náplní práce je nastavení elektrických ochrany v rozvodně průmyslového podniku. V rámci modernizace VN rozvodny byly zastaralé elektrické ochrany nahrazeny novými terminály REF 620. Práce se zabývá nastavením těchto nových řídicích terminálů na ochranu proti přetížení a zkratům. Základním předpokladem při nastavování elektrických ochrany je znalost velikosti zkratových proudů. Obzvláště jsou důležité hodnoty minimálního a maximálního zkratového proudu, který může při poruše nastat. Pro správný výpočet těchto zkratových proudů se vychází z parametrů sledovaného chráněného objektu.

Práce je rozdělena na dvě části - teoretickou a praktickou. Teoretická část začíná nahlédnutím do problematiky výpočtů zkratů dle normy ČSN EN 60909. Práce pokračuje teorií jistění v elektrickém obvodu, kde jsou jednotlivě rozebrány druhy poruch a popsány základní jistící přístroje. Další samostatná obsáhlá kapitola je věnována teorii elektrických ochrany. Teoretická část je ukončena popisem ochrany Relion REF 620, která je v této práci použita.

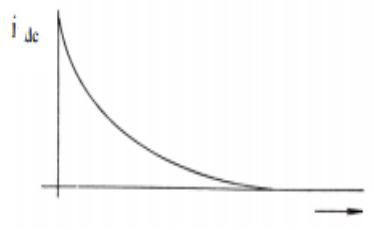
Praktická část začíná popisem průmyslového závodu a samotné VN rozvodny M6, kde proběhla modernizace. V další části jsou vypočítány zkratové proudy rozvodny M6, které jsou založené na poznatcích zmíněných v teoretické části. Praktická část je ukončena výpočtem nastavení ochrany jednotlivých kobek, kde zároveň s detekcí nadproudu a zkratu je použita funkce INRPHAR, která slouží k detekci zapínacího rázu transformátoru.

## 2 Zkraty

Pojem zkrat chápeme jako spojení nakrátko dvou nebo více vodivých částí elektrického obvodu mezi sebou či zemí. Toto spojení vede k tomu, že rozdíl elektrických potenciálů mezi těmito vodivými částmi je roven nule nebo má hodnotu blízko nuly. To má za důsledek snížení napětí v místech blízkosti zkratu, což vede k nárůstu proudu. Tento proud několikanásobně převyšuje proud jmenovitý. Působení zkratových proudů je sice krátkodobé, ale vzhledem k velikostem zkratových proudů mohou být tepelné účinky nebezpečné pro mnoho elektrických zařízení. Při zkratu vznikají také velké dynamické síly mezi vodiči, které mohou mít nebezpečné účinky pro elektrické stroje a přístroje. Zkraty navíc mohou být příčinou narušení synchronního chodu alternátoru, což je vlastně nejnebezpečnější následek zkratu, jelikož postihuje provoz celé ES. Jedná se o nejrozšířenější poruchu v ES. Zkratové proudy rozlišujeme souměrné a nesouměrné. Celkový průběh zkratového proudu se skládá z ustálené  $i_k(t)$  a stejnosměrné  $i_{d.c.}(t)$  složky. [3]



Obr. 2.2 Ustálená složka [8]



Obr. 2.1 Stejnosměrná složka [8]

### 2.1 Časové průběhy zkratů

Při odvození zkratu v trojfázovém souměrném obvodu s odporem a indukčností, který je napájen ideálním zdrojem napětí dle [7], dojdeme k rovnici:

$$i_{k(t)} = \frac{U_m}{Z_k} \left[ \sin(\omega \cdot t + \alpha - \varphi_k) - e^{-\frac{t}{T_k}} \cdot \sin(\alpha - \varphi_k) \right] \quad (2.1)$$

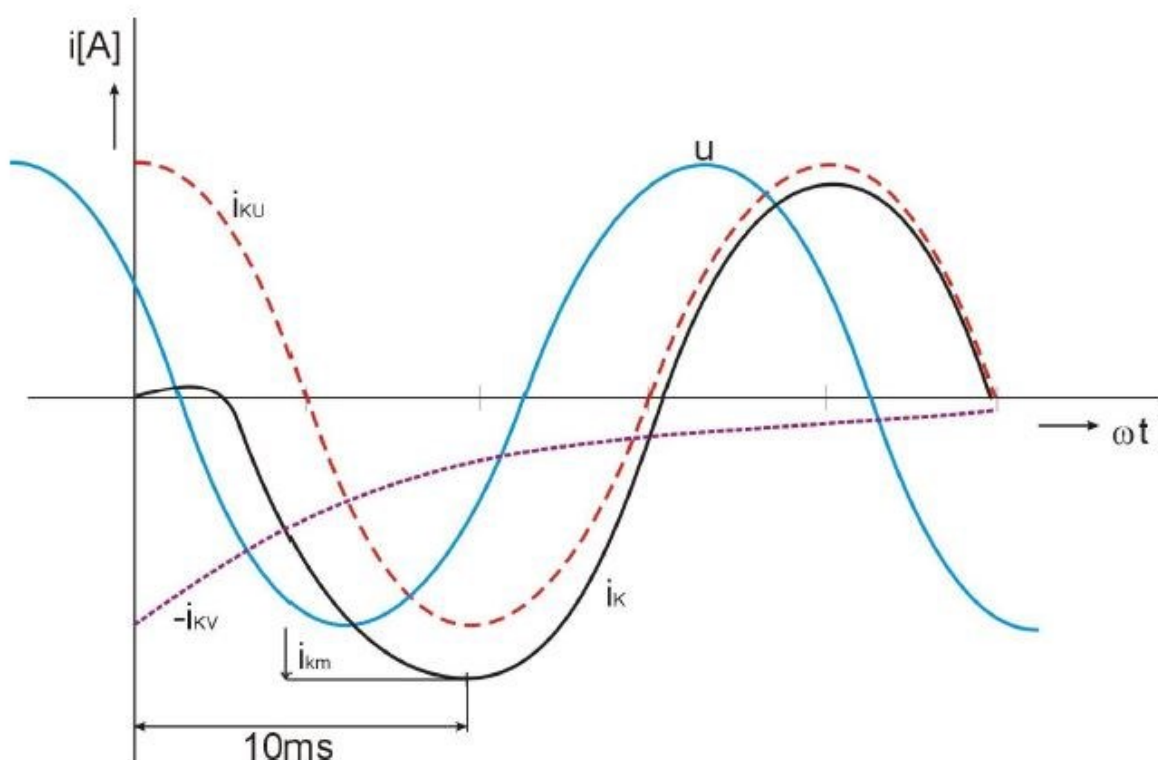
$$\text{Zkratová impedance:} \quad Z_k = \sqrt{R^2 + (\omega \cdot L_k)^2} \quad (2.2)$$

$$\text{Úhel impedance:} \quad \varphi_k = \arctg\left(\frac{\omega \cdot L_k}{R}\right) \quad (2.3)$$

Rovnici (2.1) můžeme dále rozdělit na:

Ústálená složka: 
$$i_{ku(t)} = \frac{U_m}{Z_k} \cdot \sin(\omega \cdot t + \alpha - \varphi_k) \quad (2.4)$$

Stejnoseměrná složka: 
$$i_{kv(t)} = -\frac{U_m}{Z_k} \cdot e^{-\frac{t}{T_k}} \cdot \sin(\alpha - \varphi_k) \quad (2.5)$$



Obr. 2.3 Průběh zkratového proudu [14]

Při analýze rovnice průběhu zkratu napájeného ideálním zdrojem napětí můžeme dojít k následujícím poznatkům.

1. Skutečný zkratový proud lze rozložit v každé fázi na dvě složky. První je ustálený zkratový proud  $i_{ku}$ , což je efektivní hodnota zkratového proudu, který je přítomen i po odeznění přechodného jevu. Druhá je stejnosměrná složka  $i_{kv}$ , což je střední hodnota horní a dolní obálkové křivky průběhu zkratového proudu klesající ze své počáteční hodnoty k nule. Oba průběhy lze vidět na Obr. 2.3.

2. Ústálený zkratový proud má konstantní amplitudu s frekvencí, která je dána frekvencí zdroje. Počáteční hodnota proudu závisí na okamžiku vzniku zkratu (na úhlu  $\alpha$ ) a na parametrech zkratového obvodu (úhel impedance  $\varphi_k$ ).

3. Stejnoseměrná složka zkratového proudu dozrívá s časovou konstantou  $T_k$ , která je dána parametry zkratového obvodu. Velikost počáteční stejnosměrné složky zkratového proudu závisí na proudu procházejícím obvodem před zkratem a na úhlu  $\alpha$ .

Z následujících poznatků lze vyvodit, že při vhodném úhlu  $\alpha$  může vzniknout zkratový průběh, který má pouze ustálenou složku. Tedy při  $\alpha = \varphi_k$  se rovnice (2.1) mění na:

$$i_{k(t)} = i_{ku(t)} = \frac{U_m}{Z_k} \cdot \sin(\omega \cdot t) \quad (2.6)$$

Naopak při podmínce  $\alpha - \varphi_k = \pm \frac{\pi}{2}$  dochází k nárustu hodnoty zkratového proudu k maximálním hodnotám. Rovnice (2.1) se pak změní na:

$$i_{k(t)} = \frac{U_m}{Z_k} \cdot \left[ \pm \cos(\omega \cdot t) \pm e^{-\frac{t}{T_k}} \right] \quad (2.7)$$

Nutno podotknout, že podmínka  $\alpha = \varphi_k$  pro vznik zkratového proudu bez stejnosměrné složky, není v drtivě případě splněna a vzniká zkratový proud se stejnosměrnou složkou. Jelikož jsme počítali s ideálním zdrojem napětí a se symetrickými součástkami, je odvození značně idealizované. Při vzniku zkratu mohou nastat případy souměrného a nesouměrného zkratu. [7][14]

## 2.2 Výpočet zkratových proudů

Norma ČSN EN 60909 viz. [10] popisuje výpočet pomocí metody ekvivalentního napěťového zdroje v místě zkratu. Jedná se o jediný zdroj napětí v soustavě. Všechny ostatní prvky soustavy jsou nahrazeny ekvivalentními zkratovými impedancemi. Náhradní impedance je možno určit pomocí zkoušek. Nejčastěji však vycházejí ze jmenovitých údajů elektrických zařízení a uspořádání elektrické soustavy. Výpočtem rozlišujeme dva proudy, které se liší svou velikostí:

### Maximální zkratový proud

Tento proud určuje zkratovou odolnost zařízení a při jeho výpočtu je nutné zvolit následující podmínky:

- Použití napěťového součinitele  $c_{max}$  dle Tab. 2.1.
- Nutno vybrat konfiguraci soustavy tak, aby vedly k maximální hodnotě zkratového proudu v místě zkratu.
- Při použití ekvivalentní impedance, která reprezentuje vnější síť, je nutno použít minimální ekvivalentní zkratovou impedanci, která odpovídá maximálnímu příspěvku zkratových proudů od síťových napáječů.
- Příspěvky motorů musí být zahrnuty k zkratovému proudu
- Uvažování rezistence vedení při teplotě 20 °C

### Minimální zkratový proud

Na základě tohoto proudu se nastavují ochrany, pojistky, další jistící zařízení a při jeho výpočtu je nutné zvolit následující podmínky:

- Použití napěťového součinitele  $c_{\min}$  dle Tab. 2.1
- Vybrat konfiguraci soustavu tak, aby vedly k minimální hodnotě zkratového proudu.
- Příspěvky motorů musí být zanedbány.
- Rezistance vedení se musí uvažovat při nejvyšší teplotě dle vzorce:

$$R_L = [1 + \alpha(\theta_0 - 20)] \cdot R_{L20} \quad (2.8)$$

Tab. 2.1 Napěťové součinitele pro výpočet zkratů [10]

Jmenovité napětí $U_n$	Napěťový součinitel $c$ pro výpočet	
	maximálních zkratových proudů $c_{\max}^{1)}$	minimálních zkratových proudů $c_{\min}$
<b>Nízké napětí</b> 100 V až 1 000 V (IEC 60038, tabulka I)	1,05 <sup>3)</sup> 1,10 <sup>4)</sup>	0,95
<b>Vysoké napětí</b> > 1 kV až 35 kV (IEC 60038, tabulka III)	1,10	1,00
<b>Velmi vysoké napětí</b> <sup>2)</sup> > 35 kV (IEC 60038, tabulka IV)		

<sup>1)</sup>  $c_{\max}U_n$  by neměl překročit nejvyšší napětí  $U_m$  pro zařízení energetických soustav.

<sup>2)</sup> Pokud není jmenovité napětí definováno potom  $c_{\max}U_n = U_m$  nebo  $c_{\min}U_n = 0,90 \times U_m$ .

<sup>3)</sup> Pro soustavy nízkého napětí s tolerancí +6 %, například pro soustavy přecházející z 380 V na 400 V.

<sup>4)</sup> Pro soustavy nízkého napětí s tolerancí +10 %.

Při výpočtu ať už minimální či maximálních zkratů počítáme s řadou zjednodušení:

- Po dobu trvání zkratu se nemění typ zkratu.
- Po dobu zkratu nedochází k žádné změně v síti.
- Při výpočtu předpokládaného zkratového proudu se předpokládá kovový zkrat, neuvažujeme vliv elektrického oblouku či přechodných odporů v místě zkratu.
- Uvažujeme jmenovité impedance strojů a jmenovité převody transformátorů.
- Alternátory s vyniklými poly jsou modelovány jako s hladkým rotorem.
- Zanedbání některých prvků příčných admitancí vedení a strojů.
- Všechny kapacity vedení a paralelní admitance a netočivé statické zátěže jsou zanedbány vyjma paralelních admitancí v netočivé soustavě. [10]



### Elektrický blízký zkrat

Zkrat, při kterém příspěvek alespoň jednoho synchronního stroje k předpokládanému počátečnímu souměrnému rázovému zkratovému proudu překračuje dvojnásobek jmenovitého proudu stroje, nebo zkrat, při kterém příspěvek asynchronních motorů překračuje 5 % počátečního souměrného rázového zkratového proudu  $I_k''$  bez motorů.

### Elektrický vzdálený zkrat

Zkrat, při kterém velikost souměrné složky předpokládaného zkratového proudu zůstává v podstatě konstantní.

### Ekvivalentní oteplovací proud

Jedná se o efektivní hodnotu proudu, který má stejné tepelné účinky a stejnou dobu trvání jako skutečný zkratový proud, který může obsahovat stejnosměrnou složku a s časem se mění. Ekvivalentní oteplovací proud počítáme podle:

$$I_{th} = I_k'' \sqrt{m+n} \quad (2.9)$$

Pro distribuční sítě (elektrický vzdálené zkraty) se může obvykle použít  $n=1$ . U vzdálených zkratů se jmenovitou hodnotou dobou trvání zkratu 0,5 s nebo větší je dovolené uvažovat  $m+n=1$ .

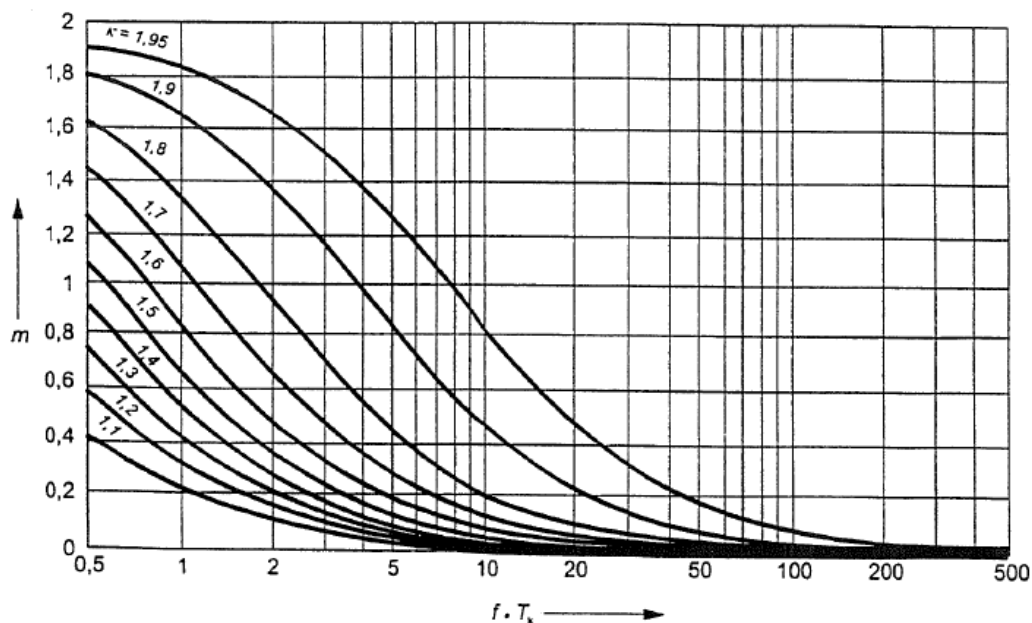
Součinitele  $m$  (součinitel tepelných účinků stejnosměrné složky), jsou získány z Obr. 2.4 s použitím součinu  $f \cdot T_k$  a součinitele  $\kappa$ , který se vypočítá podle:

$$\kappa = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3R/X} \quad (2.10)$$

Kde

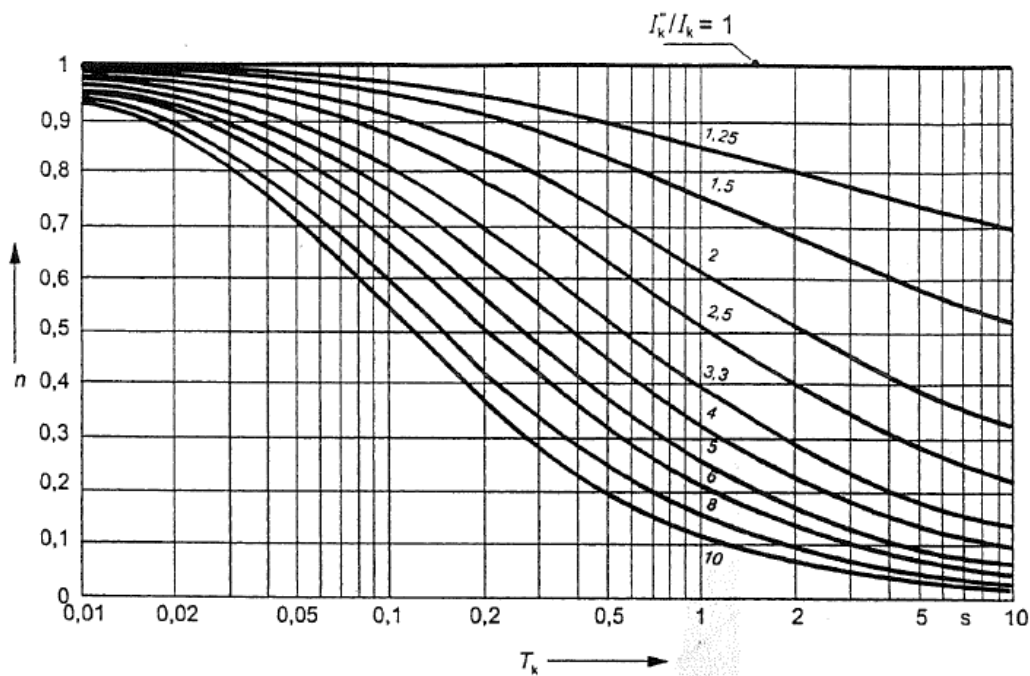
$f$  - frekvence

$T_{ki}$  - doba trvání zkratu



Obr. 2.4 Součinitel  $m$  pro tepelný účinek stejnosměrné složky zkratového proudu [10]

Součinitel  $n$  (součinitel pro tepelný účinek střídavé složky) je získaný z Obr. 2.5 s použitím  $T_{ki}$  a podílu  $I_k''/I_{ki}$  kde  $I_{ki}$  je ustálený zkratový proud pro každý zkrat.



Obr. 2.5 Součinitel  $n$  pro tepelný účinek střídavé složky zkratového proudu [10]

### Metoda souměrných složek

Zdroje i vedení v normálním provozu ES můžeme považovat v praxi za symetrické. Vznik nesymetrie je způsoben buď poruchovými stavy nebo spotřebiči. Mezi hlavní příčiny nesymetrie patří zkraty, přerušení vodičů či jednofázové spotřebiče, které nelze provozovat symetricky. Při vzniku nesouměrného zkratu, tedy zkratu kde se objeví stejnosměrná složka, vzniká určitá nesymetrie obvodu. Pro zjednodušení výpočtů je vhodné tuto nesymetrii symetrizovat. [15]

K tomuto nám slouží metoda souměrných složek, která nám říká, že v každé trojfázové soustavě lze každou hvězdicí nesymetrických fázorů nahradit složením fázorů soustavy sousledné  $U_{(1)}$ , zpětné  $U_{(2)}$  a netočivé  $U_{(0)}$ . [15]

$$\begin{aligned} U_A &= U_{A1} + U_{A2} + U_{A0} \\ U_B &= U_{B1} + U_{B2} + U_{B0} \\ U_C &= U_{C1} + U_{C2} + U_{C0} \end{aligned} \quad (2.11)$$

Zvolíme-li fázi A za referenční rovnice přejde do tvaru:

$$\begin{aligned} U_A &= U_1 + U_2 + U_0 \\ U_B &= a^2 U_1 + a U_2 + U_0 \\ U_C &= a U_1 + a^2 U_2 + U_0 \end{aligned} \quad (2.12)$$

$$a = -\frac{1}{2} + j\frac{1}{2}\sqrt{3} \quad (2.13)$$

$$a^2 = -\frac{1}{2} - j\frac{1}{2}\sqrt{3} \quad (2.14)$$

Postupnými úpravami je možno výslednou rovnici přepsat do tvaru pro souslednou, zpětnou a netočivou složku:

$$\begin{aligned} U_1 &= \frac{1}{3}(U_A + aU_B + a^2U_C) \\ U_2 &= \frac{1}{3}(U_A + a^2U_B + aU_C) \\ U_0 &= \frac{1}{3}(U_A + U_B + U_C) \end{aligned} \quad (2.15)$$

Metoda souměrných složek je jednou z metod, jak z nesouměrné soustavy lze sestavit soustavu souměrnou. Obdobné vzorce (2.15) platí nejenom pro napětí ES, nýbrž taktéž pro proud a impedanci obvodů. Při výpočtu zkratových proudů obvodem se používá právě tato metoda.[15]

#### Náhradní impedance obvodu

Při počítání zkratových proudů přepočítáváme elektrické zařízení sledované ES na náhradní impedance obvodu dle metody souměrných složek. U síťových napáječů, transformátorů, venkovních vedení, kabelů, reaktorů a podobného zařízení jsou si sousledné a zpětné složky zkratové impedance rovny  $Z_{(1)}=Z_{(2)}$ . [14]

$$\text{Soustava:} \quad Z_{(i)} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I_k''} \quad (2.16)$$

$$\text{Alternátor:} \quad X_{(i)} = \frac{x_d'' \cdot U_{nG}^2}{100 \cdot S_{nG}} \quad (2.17)$$

$$\text{Reaktor:} \quad X_{(i)} = \frac{10 \cdot u_R \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I_n} \quad (2.18)$$

$$\text{Transformátor (2v):} \quad Z_{(i)} = \frac{u_k \cdot U_{nT}^2}{100 \cdot S_{nT}} \quad (2.19)$$

$$\text{Vedení:} \quad X_{(i)} = X_k \cdot l \quad R_{(i)} = R_k \cdot l \quad (2.20)$$

$$\text{AM:} \quad X_{(i)} = \frac{U_{nM}^2}{i_z \cdot S_{nM}} = \frac{U_{nM}}{i_z \cdot \sqrt{3} \cdot I_{nM}} = \frac{U_{nM}}{\sqrt{3} \cdot I_z} \quad (2.21)$$

## 2.3 Souměrné a nesouměrné zkraty

Souměrný trojpólový zkrat ( $I_{k3}$ ) může nastat při kovovém dotyku všech tří fází navzájem. Všechny tři vodiče jsou shodně postiženy a vedou stejný zkratový proud. Jelikož se jedná o souměrný zkrat, tak počítáme výsledný proud pouze ze sousledné impedance. Tento druh zkratu se nejčastěji vyskytuje v kabelových sítích (oblouk, vzniklý při jakémkoliv zkratu, snadno poruší izolaci mezi všemi fázemi) a vede často k nejvyšším hodnotám předpokládaného zkratového proudu. [8]

Počáteční souměrný rázový zkratový proud se počítá pomocí ekvivalentního napěťového zdroje v místě zkratu a zkratové impedance.

$$I_k'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_k} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_k \cdot X_k}} \quad (2.22)$$

### Nesouměrné zkraty [8]

Dvoufázový ( $I_{k2}$ ) nastává spojením dvou fází. Počáteční souměrný rázový zkratový proud se počítá :

$$I_{k2}'' = \frac{c U_n}{|Z_{(1)} + Z_{(2)}|} = \frac{c U_n}{2|Z_{(1)}|} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_k'' \quad (2.23)$$

Dvoufázový zemní ( $I_{kE2E}''$ ) nastává při spojení dvou fází a země. Je nutné rozlišit proudy zkratovaných fází a proud tekoucí proti zemi. Počáteční souměrné rázové zkratové proudy:

$$I_{k2EL2}'' = -j c U_n \frac{Z_{(0)} - a Z_{(2)}}{Z_{(1)} Z_{(2)} + Z_{(1)} Z_{(0)} + Z_{(2)} Z_{(0)}} \quad (2.24a)$$

$$I_{k2EL3}'' = -j c U_n \frac{Z_{(0)} - a^2 Z_{(2)}}{Z_{(1)} Z_{(2)} + Z_{(1)} Z_{(0)} + Z_{(2)} Z_{(0)}} \quad (2.24b)$$

$$I_{k2E2E}'' = -j c U_n \frac{\sqrt{3} c U_n Z_{(2)}}{Z_{(1)} Z_{(2)} + Z_{(1)} Z_{(0)} + Z_{(2)} Z_{(0)}} \quad (2.24c)$$

Jednofázový ( $I_{k1}''$ ) nastává při dotyku jedné fáze se zemí. Tento stav v soustavě s izolovaným uzlem nazýváme zemním spojením. Počáteční rázový zkratový proud se počítá:

$$I_{k1}'' = \frac{\sqrt{3} \cdot c \cdot U_n}{Z_{(1)} + Z_{(2)} + Z_{(0)}} \quad (2.25)$$

## 3 Teoretický rozbor ochran a jištění

### 3.1 Druhy poruch a jištění v rozvodu elektrické energie

Při elektrických poruchách nastávají nežadoucí stavy, které dokážou způsobit škodu na majetku či ztrátu lidského života. Tyto stavy se projeví změnami parametrů sledovaného energetického objektu. Tyto parametry nazýváme stavové veličiny. Je žádoucí tyto stavové veličiny ( $U$ ,  $I$ ,  $f$ ,  $P$ ) sledovat a v případě poruchy zamezit havárii chráněného zařízení. Všeobecně platí podmínka, že pro důležitější zařízení elektrického rozvodu se navrhuje lepší typ chránění. V elektrickém obvodu můžou nastat tyto poruchy: [1]

#### **Zkrat**

- a) Spojení fází, fáze a země → možné poškození tepelné, mechanické, elektrické nebo ztráta synchronismu.

#### **Přetížení**

- b) Příliš vysoký proud protékající zařízením (výkon) → tepelné či mechanické poškození.

#### **Přepětí**

- c) Zvýšení napětí nad povolenou mez → poškození a degradace izolace, nebezpečí vzniku zkratu, přídavné ztráty.
- d) Atmosferické přepětí, spínací, regulace napětí, napětí naprázdno, kondenzátorové zátěže.

#### **Podpětí**

- e) Napětí pod povolenou mez → proudové přetížení, regulace napětí.

#### **Frekvence**

- f) Přebytek výroby či spotřeby v ES → nesprávná funkce, vyšší magnetizační proudy a ztráty a mechanické namáhání.

#### **Zemní spojení**

- g) Spojení 1 fáze u sítí s izolovaným uzlem → pravděpodobnost následného zkratu.

#### **Zpětný tok výkonu**

- h) Porucha turbíny → motorický chod generátoru

#### **Jištění v rozvodu elektrické energie**

Při návrhu jištění v elektrickém obvodě se očekává, že navrhnuté jistící přístroje budou co nejjednodušší, a tedy levné, a přesto spolehlivé. Jištění v rozvodu NN je realizováno elektrickými jističi, proudovými chrániči a pojistkami. V rozvodu NN se vyskytují zařízení, které není třeba chránit složitějšími ochranami. Tento fakt je způsoben tím, že domácnosti, kde tento rozvod drtivě převažuje, jsou pouhou větví rozvodné soustavy. Se zvyšující se napěťovou hladinou rozvodu se mění požadavky kladene na jistící přístroje. Rozměry všech přístrojů se ve VN rozvodu zvětšují a jejich konstrukce a princip vypínání oblouků se mění. Mezi základní elektrické přístroje pro jištění ve VN rozvodu patří - odpojovače, odpínače, výkonové vypínače a VN pojistky.[4]

## Odpojovače a odpínače

Odpojovač je přístroj, který spojuje, či rozpojuje nezatížený elektrický obvod mechanicky s viditelnou rozpojovací dráhou. Odpojovače se používají z důvodu odpojování částí vedení, sítí, strojů a zařízení za účelem revize, opravy nebo případné změny v řazení. V rozvodech VN, VVN a ZVN jsou obzvláště důležité, protože se nespokojujeme s vypnutím proudu vypínačem, ale vždy přerušujeme obvod ještě na druhém místě odpojovačem. Odpojovač slouží především k ochraně osob pracujících na odpojených zařízeních a nemá žádnou vypínací schopnost. Při vypnutí odpojovače pod napětím by došlo k natažení oblouku a následnému požáru. Z tohoto důvodu musí být tato manipulace zakázána. Odpínač je na rozdíl od odpojovače schopen vypnout případně zapnout menší proudy s viditelnou proudovodnou dráhou. Mezi nejčastější odpínače patří tzv. pojistkové odpínače či úsekové odpínače na vedeních. [4][11]



Obr. 3.1 Pojistkový odpínač [5]

## Pojistky

Pojistka je elektrické zařízení, které jistí obvod před účinky zkratových proudů. Princip je založen na tepelně nejslabším článku proudovodné dráhy. Na vhodném místě v obvodu proudovodné dráhy mezi zdrojem a spotřebičem je úmyslně vytvořen zeslabený průřez vodiče, který je menší než ve zbývajícím obvodu. Průchodem proudu se zeslabená část vlivem Joulových ztrát zahřívá. Pokud dojde k nežadoucím zvýšení proudu v obvodu na nepřijatelnou mez, tak se začne zeslabená část zahřívat a dojde k přetavení pojistky a dochází k přerušení obvodu. K tomuto přerušení dojde ještě před tím, než dojde k mechanickému či tepelnému poškození zařízení v obvodu. Zapůsobením pojistky dojde k nenavratnému poškození tavného vodiče a pojistka musí být odstraněna. Pojistka jistí elektrický obvod před účinky zkratových proudů a nadproudu, nicméně při malém nadproudu může dojít pouze k pomalému tavení pojistky a obvod se buď přeruší za velmi dlouhou dobu nebo vůbec. [4][11]



Obr. 3.2 Pojistky VN [5]

## Jističe

Jistič slučuje do jednoho celku funkci vypínače i pojistky. Má dvě stabilní polohy - zapnuto a vypnuto. V poloze zapnuto je sepnutí kontaktů realizováno mechanicky tzv. zámky a volnoběžkami. Do polohy vypnuto je jistič uváděn působením pružiny. Nastane-li v obvodu porucha, je zámek působením spouště uvolněn a následným působením natažené pružinky jsou kontakty oddáleny od sebe. Jističe v domácích instalacích bývají vzduchové s magnetickým vyfukováním. Výhodou jističe je možnost jeho opětovného použití, nicméně není určen k častému spínání. Jistič chrání obvod před zkratovými proudy a také nadproudy. Při nadproudu je zahříván bi-metalový pásek, který se vlivem tepla roztahuje a po dosažení kritické hodnoty jistič vybaví. V instalacích NN se často jističům předřazují pojistky. [4][11]



Obr. 3.3 Jistič NN [5]

## Výkonový vypínač

V domácích instalacích je hojně využíváno jističů. Pokud ale přerušujeme elektrický obvod vyšších parametrů, oblouk neuhasne, neučiníme-li zvláštní opatření. Pro vypínání oblouků ve VN aplikacích používáme výkonové vypínače. Princip jističe i vypínače je ve své podstatě stejný. Rozdílem je konstrukce a způsob uhašení elektrického oblouku. Problematika elektrického oblouku a výkonových vypínačů je nad rámec této DP, jejich problematika je detailněji rozepsána např. zde [4]. Obecně mezi hlavní typy VN výkonových vypínačů patří vypínače – kapalinové, tlakovzdušné, plynové, vakuové a magnetické. [11]



Obr. 3.4 Výkonový vypínač VN [5]

## 3.2 Elektrické ochrany

Při jištění složitějších elektrických zařízení, které hrají větší roli v rozvodu elektrické energie, se jištění uskutečňuje elektrickými ochranami. Elektrická ochrana je tedy zařízení, které zajišťuje provozní bezpečnost a spolehlivost určité části energetického systému, např. generátoru, vedení transformátoru apod. Skrze přístrojové transformátory proudu a napětí, popř. z dalších čidel získává informace o jednotlivých veličinách chráněného objektu. Tyto informace o proudech a napětích jsou poté ochranou zpracovávány. Ochrana má za úkol rozlišit, zda-li se jedná o provozní stav, či poruchu. V případě poruchy uvnitř objektu ochrana zamezuje havárii chráněného zařízení vypnutím, odbuzením apod. Ochrana taktéž vysílá signál o působení pro obsluhu. Obsluha může nastavovat parametry ochrany, např. měnit její citlivost nebo časové zpoždění.[6][1]

Tab. 3.1 Rozdělení elektrický ochran

Funkčního principu	Druhu poruchy	Doby působení
proudová	zkratová	mžiková
napěťová	při přepětí	časově závislá
Distanční	podpěťová	časově nezávislá
Rozdílová	nadpěťová	
Srovnávací	podfrekvenční	
Wattová	nadfrekvenční	
Jalová	při zemním spojení	
frekvenční	při zpětném toku výkonu	
Při nesouměrnosti	při ztrátě buzení	
	při nesouměrnosti	

### Požadavky kladené na ochrany

Tab. 3.2 Požadavky kladené na ochrany

Rychlost	Citlivost	Přesnost
Selektivita	Spolehlivost	Odolnost při rušení

Rychlost ochrany je dána dobou působení. Velká rychlost ochran zmenšuje nároky na dimenzování chráněného objektu. Při návrhu rychlosti ochran vycházíme z předpokladu, jakou míru oteplení dokáže elektrické zařízení snést. Teplo akumulované při zkratu uvnitř zařízení je úměrné době trvání poruchy  $t_z$ . [2]

$$w = \int_0^{t_z} ri^2(t)dt \quad (3.1)$$



*Citlivost ochrany* je velikost stavové veličiny, na kterou je ochrana nastavena a podle ní určuje poruchu. V provozu jsou nutná určitá bezpečnostní opatření. Proto je funkce ochrany nastavena na méně nebezpečnou hodnotu stavové veličiny než odpovídá poruše. [2]

*Přesnost ochrany* je poměrná chyba citlivosti ochrany vyjádřená v procentech. Jakost ochrany se zvětšuje s její přesností. [2]

$$\delta = \left| \frac{x - x_b}{x_a} \right| \cdot 100 \quad (3.2)$$

*Selektivita ochrany* je schopnost ochrany vybrat ze sítě právě poškozenou část, která je zasažena poruchou, a odepnout ji nejbližšími vypínači tak, aby pokud možno co největší část nepoškozené sítě zůstala v provozu. Selektivita zmenšuje nebezpečí ztráty stability a zhroucení soustavy. [2]

*Spolehlivost* působení ochrany vyjadřuje schopnost působení v případě poruchy. Elektrické ochrany chrání především drahá a důležitá zařízení a také stabilní chod elektrizační soustavy. Ochrany jsou dlouho v nečinnosti a působí pouze v případě poruchy. Proto je nutné jejich funkci periodicky kontrolovat. Spolehlivost můžeme zvýšit jednoduchou konstrukcí ochrany. [2]

*Odolnost ochrany při rušení* je důležitá, neboť při energetickém provozu se vyskytuje mnoho vlivů, které mohou ochranu poškodit. Je to především prašné prostředí, obsah agresivních plynů v ovzduší elektrárny, otřesy, magnetická a elektrická pole při zkratech apod. [2]

### 3.3 Nadproudové ochrany

Nadproudové ochrany jsou používány především pro svoji jednoduchost. Projektují se u méně důležitých vedení a to především jako ochrany záložní. Princip této ochrany je založen na zvýšené hodnotě proudu při přetížení nebo zkratu. Z hlediska závislosti nadproudu a času rozlišujeme několik typických charakteristik nastavení ochran: [1]

a) *Závislou*, kterou lze popsat rovnicí:

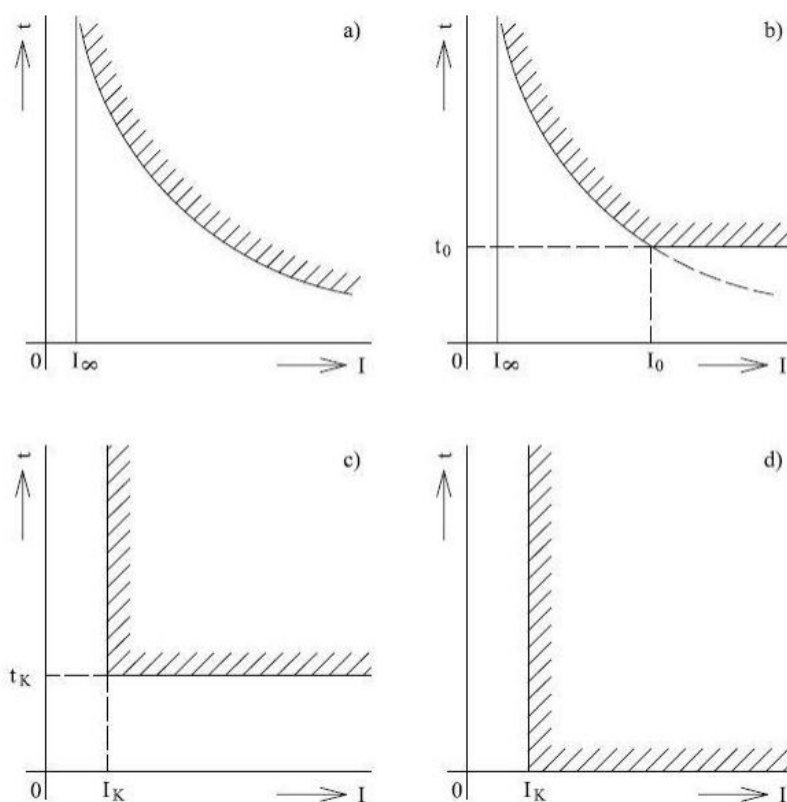
$$\text{Pro } I > I_{\infty}: \quad t = \frac{K}{(I - I_{\infty})^n} \quad (3.3)$$

$$\text{Pro } I \leq I_{\infty}: \quad t = \infty \quad (3.4)$$

b) *Polozávislou*, která má charakteristiku působení definovanou stejně jako závislá ochrana pouze do velikosti proudu  $I_0$ . Pro větší proudy  $I > I_0$  má již konstantní dobu působení.

c) *Nezávislou nadproudovou ochranu*, která působí v nastaveném čase  $t_k$  při dosažení proudu  $I_k$ . Při  $I > I_k$  doba působení již nezávisí na velikosti proudu  $I$ , nýbrž je konstantní.

- d) *Mžiková ochrana* působí při překročení nastaveného proudu  $I_K$  bez zpoždění. Zpoždění je prakticky dáno pouze vlastním časem ochrany, která bývá u ochran do 10 ms.



Obr. 3.5 Charakteristiky nadproudových ochran [1]

### Nezávislé nadproudové ochrany

Tyto ochrany se nejčastěji vyskytují v radiálních sítích VN, kde jsou úseky spojeny v sérii. Dále v radiálních sítích, kdy na koncích jednotlivých úseků jsou rozdíly zkratových proudů malé. Ochrana ležící nejdál od zdroje vypíná v nejkratším čase  $t_1$ . Ochrany blíže ke zdroji je nutno nastavit na čas  $t_2 = t_1 + \Delta t$ . Velikost koordinačního intervalu  $\Delta t$  závisí na provedení ochrany. Proudové nastavení měřících členů je nutno seřadit tak, aby se ochrany mezi sebou zálohovaly. Ochrany se tedy časově odstupňují, aby byla zaručena selektivita, jak je znatelné na Obr. 3.6. Nevýhodou nezávislých nadproudových ochran je fakt, že zkraty nejbližší zdroje vypíná nejpozději. Výhodou těchto ochran je, že vhodným proudovým nastavením a časovým odstupňováním se mohou mezi sebou vzájemně zálohovat.[1]

### Nastavování nadproudových nezávislých ochran

#### a) Stanovení stupně $\Delta t$ časové selektivity

Při návrhu časového odstupňování ochran stanovíme stupeň časové selektivity rozdílem časového zpoždění ochran dvou sousedních úseků:

$$\Delta t = t_n - t_{(n-1)} \quad (3.5)$$

Časová selektivita  $\Delta t$  musí být taková, aby porucha na předchozí části vedení (n-1) byla odpojena dříve než zapůsobí ochrana následujícího n-tého úseku.

Časové zpoždění  $\Delta t$  se skládá z:

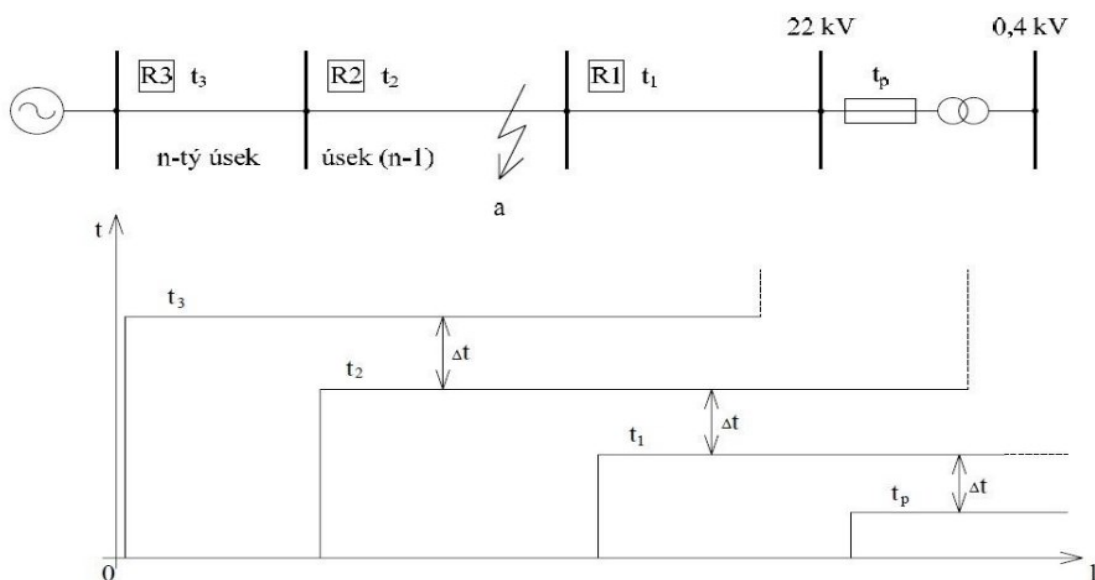
$$\Delta t = t_{v(n-1)} + t_{r(n-1)} + t_{rn} + t_z \quad (3.6)$$

$t_{v(n-1)}$  - doba vypnutí vypínače předcházejícího (n-1) úseku

$t_{r(n-1)}$  - celková absolutní největší kladná chyba časového členu ochrany předcházejícího úseku

$t_{rn}$  - celková absolutní největší kladná chyba časového členu ochrany následujícího úseku

$t_z$  - záložní čas zahrnující nepřesnosti předcházejících činitelů



Obr. 3.6 Vypínací schéma nezávislých nadproudových ochran [6]

#### b) Nastavení rozběhového proudu nadproudových nezávislých ochran.

Rozběhový proud  $I_r$  musí být větší než největší dovolené zatížení vedení. Stanovíme ho následovně:

$$I_r \geq \frac{k_b \cdot I_n}{k_p \cdot p_i} \quad (3.7)$$

$k_b$  – koeficient bezpečnosti a volí se v rozmezí 1,1 – 1,35

$k_p$  – přídržný poměr relé

$I_n$  – největší dovolené zatížení vedení, popřípadně transformátoru či generátoru

$p_i$  – jmenovitý převod jistících transformátorů proudu

Rozběhový proud  $I_r$  musí být menší než nejmenší očekávaný zkratový proud na konci chráněného úseku. U sítí VN, které jsou provozovány izolovaně, je nejmenší zkratový proud často při dvoupólovém zkratu. Může ovšem nastat průchozí zkrat na NN straně transformátoru, který přejde na VN stranu. Tento průchozí zkrat je často ještě menší než dvoupólový zkrat. [1]

Pro nastavení ochrany musí být splněna podmínka:

$$I_r \leq \frac{I_{k \min}}{k_c \cdot p_i} \quad (3.8)$$

$I_{k \min}$  – nejmenší předpokládaný zkratový proud na konci chráněného úseku

$k_c$  – koeficient citlivosti nadproudových ochran

### c) Koordinace proudového nastavení ochran v úsecích řazených za sebou

Zde platí zásada, že ochrana blíže ke zdroji nesmí být citlivější než ochrana vzdálenějších úseků. Nastavení ochrany podle této podmínky vyhovuje v případě jednoho napájecího zdroje.

$$I_{rn} = (1,1 \div 1,3) \cdot I_{r(n-1)} \quad (3.9)$$

$I_m, I_{r(n-1)}$  - jsou proudové nastavení úseku  $n$  a  $(n-1)$

U nezávislých nadproudových ochran je časové zpoždění ochrany v celém úseku vedení konstantní. Pokud se chráněné vedení skládá z mnoha úseků a chceme zaručit selektivitu vypínání, dostáváme příliš dlouhé vypínací časy. Čím déle trvá porucha na chráněném zařízení, tím více se zvětšuje pravděpodobnost jeho zničení. Nezávislá nadproudová ochrana se tedy používá u jednoduchých radiálních sítí. [1][6]

### Závislé nadproudové ochrany

Vypínací čas závislé nadproudové ochrany se mění s velikostí proudu, který prochází obvodem. Čím větší proud prochází obvodem, tím se zmenšuje čas, kdy ochrana zapůsobí. Výhoda ochrany tedy tkví především v tom, že zkracuje vypnutí vedení na jeho začátku. [6]

Charakteristika proudové ochrany:

$$(I - I_\infty) \cdot t = K \quad (3.10)$$

Zkratový proud na začátku vedení:

$$I_z = \frac{U_i}{Z_s} \quad (3.11)$$

Zkratový proud na konci vedení:

$$I_k = \frac{U_i}{|\dot{Z}_s + \dot{Z}_i|} \quad (3.12)$$

Pro zjednodušení volíme  $I_\infty=0$ . Potom vypínací čas na začátku a na konci chráněného úseku je:

Začátek vedení: 
$$t_z = \frac{K}{I_z} = \frac{K \cdot Z_s}{U_i} \quad (3.13)$$

Konec vedení: 
$$t_k = \frac{K}{I_k} = \frac{K \cdot |\dot{Z}_s + \dot{Z}_i|}{U_i} \quad (3.14)$$

Poměr doby vypnutí chráněného úseku začátku a konce vedení bude tedy:

$$\frac{t_z}{t_k} = \left| \frac{\dot{Z}_s}{\dot{Z}_s + \dot{Z}_i} \right| \quad (3.15)$$

## 4 Popis ochran navržených pro chránění rozvodny 22 kV

V průmyslových aplikacích se hojně využívá takových ochran, které shlukují do jednoho zařízení více funkcí. V minulosti byly ochrany realizovány na elektromechanickém a polovodičovém principu. V současné době jsou hojně používány digitální ochrany. Digitální ochrany jsou přesnější, rychlejší a jedna ochrana zvládne více ochranných funkcí než-li elektromechanická. Jelikož existuje celá řada ochran, které jsou určeny pro různé aplikace od desítek výrobců, je vhodné před návrhem ochrany zkoumat, jaký typ objektu chráníme a jaké typy poruch mohou v energetickém objektu nastat. [3]

V rozvodně 22 kV mohou nastat poruchy různého druhu, nicméně nejčastějšími poruchami jsou poruchy typu přetížení, zkratu či zemního spojení. Pro chránění rozvodu elektrické energie byly použity ochrany od firmy ABB - přesněji model Relion REF 620.

### 4.1 Relion REF 620

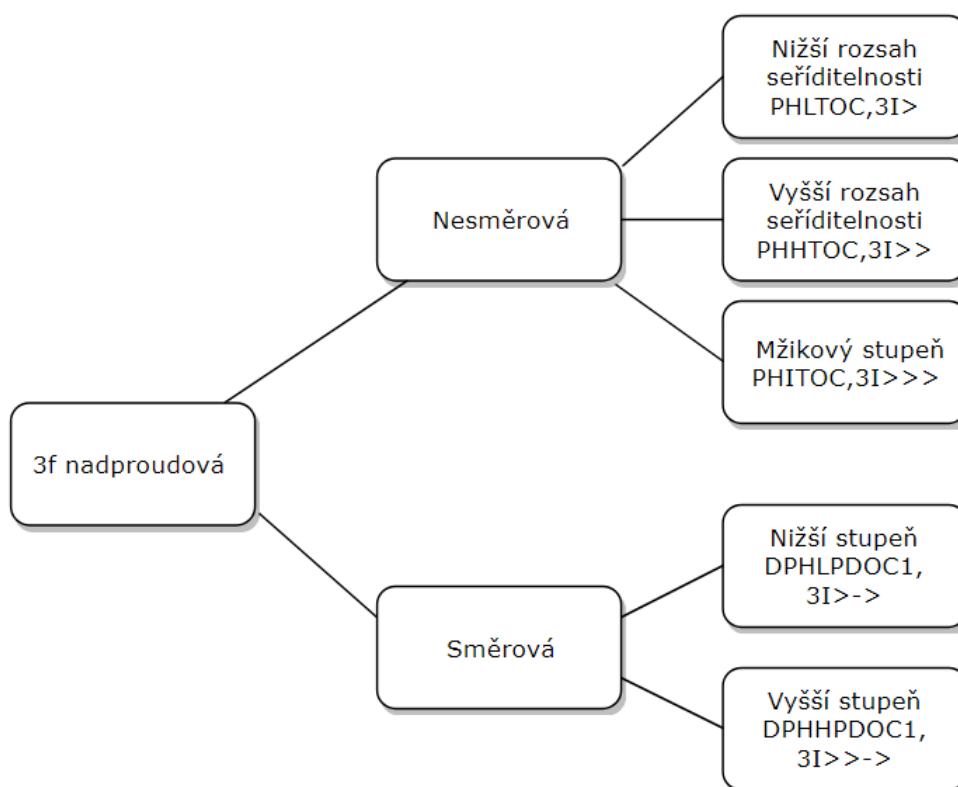
REF 620 je ochrana určena pro chránění, měření, řízení a kontrolu přenosových a rozvodných systému jak radiálních tak mřížových. REF 620 je členem rodiny IED Relion - produktů určených k měření a chránění. REF 620 je charakterizována její škálovatelností funkcí a vysunovacím terminálem. Ochrana má z výroby výchozí nastavení. Před implementací do systému je nutno provést její nastavení. Nastavení je prováděno dle parametrů chráněného objektu. Nastavení ochrany se realizuje v grafické aplikaci PCM600, která funguje na principu funkčních bloků. [9]



Obr. 4.1 REF 620 [9]

#### Ochranné funkce REF 620

Ochranu lze nastavit na detekci desítek poruchových stavů jako např. nadproud, zemní spojení, nadpětí, podpětí, nesymetrie, frekvence, tepelná ochrana, selhání výkonového vypínače aj. Hlavní ochranná funkce, která je pro chránění VN rozvodny použita, je funkce nadproudová. Tuto funkci můžeme rozdělit na desítky typů nadproudů, nicméně základní je rozdělení směrové a nesměrové. Tyto směrové a nesměrové části lze dále rozdělit na různé stupně a rozsahy seřaditelnosti dle obrázku níže.[9]



Obr. 4.2 Základní rozdělení nadproudových funkcí REF 620

#### Nastavení nesměrové nadproudové ochrany

V práci je použita funkce nesměrová. Nesměrová funkce ochrany je vhodná pro radiální sítě a lze ji použít pro ochranu vedení před nadproudy a zkraty. Pokud je překročena nastavená hodnota proudu, pak ochrana vysílá impuls k vypnutí. Nadproudovou nesměrovou část lze rozdělit na 3 stupně. Tyto stupně lze vidět na Obr. 4.2. Každý stupeň je vhodný pro jiný typ poruchy. Nastavení ochrany se liší podle parametrů ES a podle stupně, který nastavujeme.

Prvním stupněm je stupeň s nižším rozsahem seřaditelnosti PHLTOC,3I>:

Tab. 4.1 Parametry nastavení PHLTOC, 3I>

Parameter	Values	Unit	Description
Start value	0,05 ..5,00	$\times I_n$	Násobek jmenovitého proudu, při kterém ochrana spíná
Start value Mult	0,8 .. 10,0		Násobek start value (Pro zapínací ráz tran.)
Time multiplier	0,05 .. 15,00		Konstanta $k$ u závislých charakteristik
Operate delay time	40 .. 200000	ms	Zpoždění ochrany
Operating curve type	1 .. 19		Typ charakteristiky viz. IV
Type of reset curve	1 .. 3		Typ resetovací charakteristiky

Z tabulky lze vidět, že *start value* se nastavuje na násobek jmenovitého proudu. Proud se vždy přepočítává na sekundární stranu proudového transformátoru. Tento rozsah je v rozpětí 0,05-5 násobku  $I_n$ . Při zkratech může proud daleko převýšit horní hranici 5-ti násobku jmenovitého proudu, a proto je tento stupeň vhodný pro ochranu před přetížením v obvodu.

V kolonce *operating curve type* můžeme zvolit, zda bude charakteristika ochrany závislá, či nezávislá. Dle typu charakteristiky dále nastavujeme buď *operate delay time*, anebo *time multiplier*. *Operate delay time* se uplatní u nezávislé charakteristiky. Jedná se o časové zpoždění ochrany. V případě zvolení závislé charakteristiky nastavujeme kolonku *time multiplier*. Jedná se o konstantu  $k$  v obecné charakteristice závislé ochrany:

$$t = \left( \frac{A}{\left( \frac{I}{I >} \right)^C - 1} + B \right) \cdot k \quad (4.1)$$

$A, B, C$  - konstanty závislé na typu zvolené charakteristiky (viz. přílohy IV)

$I >$  - nastavená hodnota proudu, při kterém ochrana spíná (*Start value*)

$I$  - měřený proud

$k$  - citlivost ochrany (*Time multiplier*)

Druhým stupněm ochrany je stupeň s vyšším rozsahem seřiditelnosti PHHTOC,3I>>. Stupeň s vyšším rozsahem seřiditelnosti je vhodný pro zkraty, jak je viditelné z rozsahu hodnot *start value* (Tab. 4.2). Jednotlivé parametry lze nastavovat obdobně jako u stupně PHLTOC,3I> s výjimkou *start value*, kde lze nastavit vyšší rozsah.

Tab. 4.2 Parametry nastavení PHHTOC,3I>>.

Parameter	Group settings	Values	Unit	Setting group 1
Start value		0,10 .. 40,00	$\times I_n$	
Start value Mult		0,8 .. 10,0		
Time multiplier		0,05 .. 15,00		
Operate delay time		40 .. 200000	ms	
Operating curve type		1 .. 19		
Type of reset curve		1 .. 3		

Posledním stupněm nesměrové nadproudové funkce ochrany je mžikový stupeň PHITOC,3I>>>. Tento stupeň lze nastavit pouze na *start value* případně jeho násobek (*start value mult.*). Ochrana má v mžikovém stupni nastavenou výchozí nezávislou charakteristiku, kde je možno pouze zpozdít vypnutí nastavením parametru *operate delay time*.



Z parametrů chráněného objektu vypočítáme požadované hodnoty a podle výsledků nastavíme jednotlivé stupně. Mohou tedy existovat tři na sobě nezávislé nastavené nadproudové stupně. Každý ze stupňů je použit pro chránění před jiným typem poruchy. Toto nastavení jednotlivých stupňů nám dohromady tvoří tzv. skupinové nastavení ochrany.

Mimo skupinové nastavení ochrany můžeme dále pro jednotlivé stupně nastavit:

Tab. 4.3 Individuální nastavení pro každý stupeň nadproudové funkce [9]

Parameter settings	Non group	Values	Unit	Description
Operation		1 or 5		1=Zapnuto / 5=Vypnuto
Num of start phases		1 .. 3		Na kolika fázích se musí objevit porucha pro reakci ochrany
Minimum operate time		20 .. 60000	ms	Minimální čas pro vybavení pro nezávislé charakteristiky
Reset delay time		0 .. 600000	ms	Čas obnovení funkce
Measurement mode		1 .. 3		Typ měření: 1-RMS/2-DFT/3-I <sub>p-p</sub>

### Ošetření proti záběrnému proudu transformátoru

Ve spolupráci s nadproudovým nastavením ochrany REF 620 lze nastavit na ochraně i jiné dodatečné jištění různých poruch na rozvodně. Mezi toto dodatečné jištění patří: detekce záblesku, chyba vypínače, vysoko impedanční zemní spojení a detekce rázového proudu transformátoru.

Při zapínání transformátoru vzniká proudový ráz z důvodu magnetizování jádra transformátoru. Tento proud je charakterizován svojí dominantní 2. harmonickou proudem a jeho velikost může dosahovat 4-6 násobek  $I_n$  transformátoru. Ochrana REF 620 má v sobě zabudovanou funkci INRPHAR,3I2f>, která slouží pro detekci tohoto stavu. Tato funkce zjišťuje, zda-li je 2. harmonická proudem dominantní. Nastavení probíhá obdobně jako při nastavení nadproudových stupňů. Funkce INRPHAR,3I2f> má opět jako nadproudová funkce své skupinové a individuální nastavení. [9]

Ve skupinovém nastavení lze nastavit *starting value*, což zde znamená procentuální poměr 2. k 1. harmonické proudu. Pokud hodnota překračuje nastavenou hodnotu, tak ochrana vysílá signál. Zpoždění ochrany probíhá podle nezávislé charakteristiky s pevně daným časem - zde *operate delay time*. [9]

Tab. 4.4 Skupinové nastavení funkce INRPHAR,3I2f>

Parameter	Values	Unit	Description
Starting Value	5...100	%	Poměr 2. k 1. harmonické vedoucí k omezení
Operate delay time	20...60000		Zpoždění ochrany

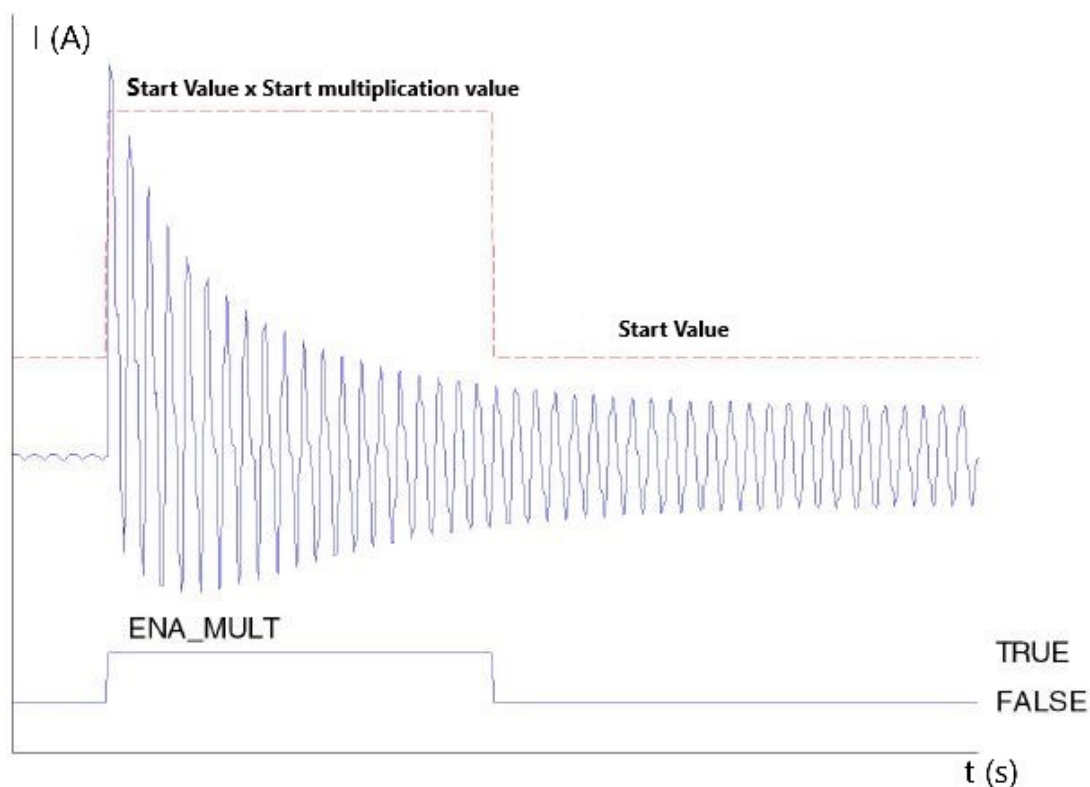
Individuální nastavení INRPHAR,3I2f> probíhá taktéž obdobně jako nastavení nadproudové funkce. Na výběr máme dva parametry a to *operation* a *reset delay time*. V kolonce *operation* volíme, zda-li má být nastavená funkce aktivní, či ne a v kolonce *reset delay time* volíme čas obnovení funkce.

Tab. 4.5 Individuální nastavení funkce INRPHAR,3I2f>

Parameter	Values	Unit	Description
Operation	1 or 5		1=Zapnuto / 5=Vypnuto
Reset delay time	0...60000		Čas obnovení funkce

Funkce INRPHAR,3I2f> tedy funguje následovně. Pokud hodnota proudu překročí *starting value* dojde k aktivaci funkce, která po uplynutí doby *operate delay time* vysílá signál na výstup. Výstup je aktivní do té doby, dokud nedojde k poklesu proudu pod hodnotu *starting value*, tedy dokud existuje proudový ráz. Pokud dojde k poklesu hodnoty nárazového proudu pod hodnotu *starting value*, dojde k obnovení funkce a výstup je neaktivní.

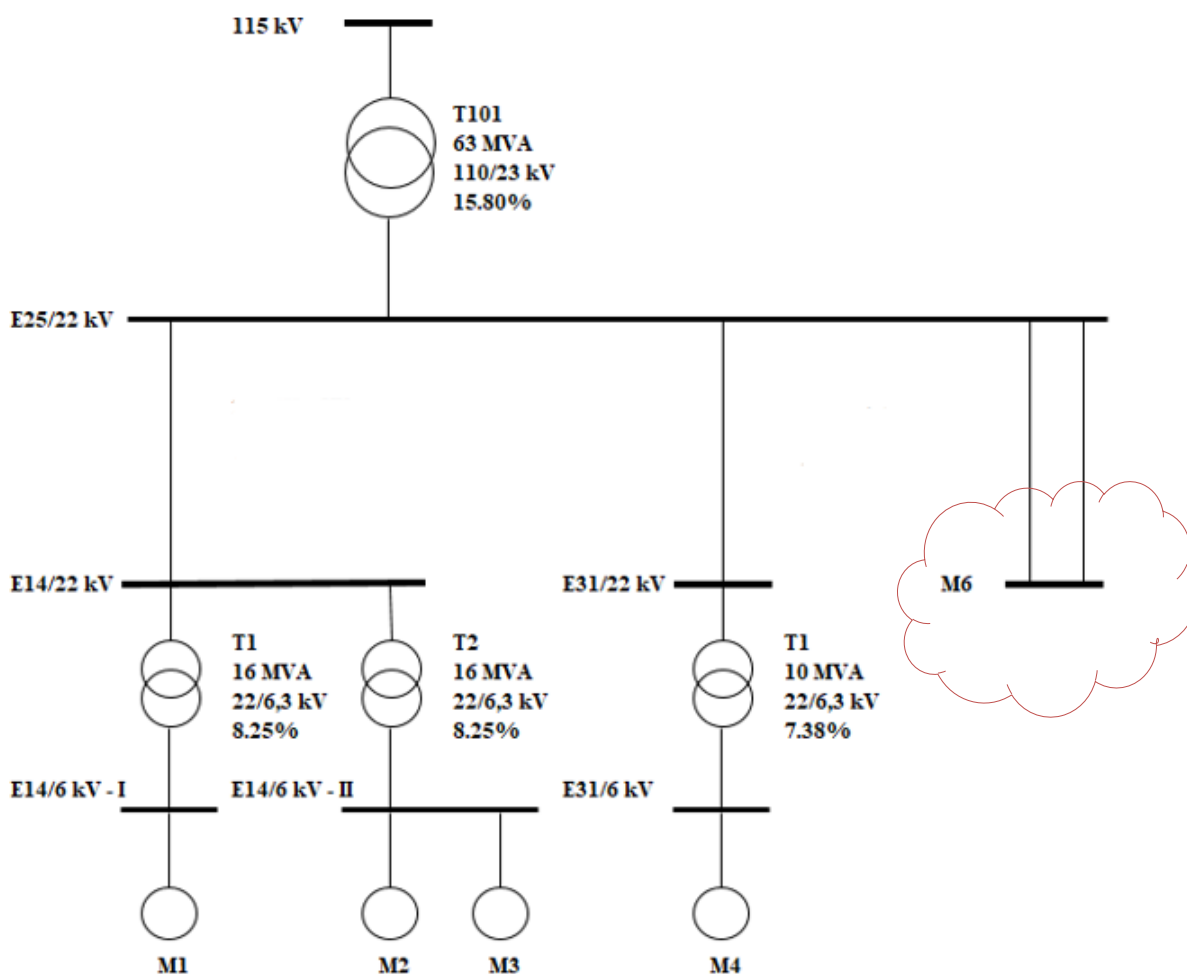
Spolupráce funkcí INRPHAR,3I2f> a nadproudové funguje následovně. Při proudovém rázu je výstup funkce INRPHAR,3I2f> aktivní. Tento výstup je připojen na vstup ENA\_MULT nadproudové funkce. Vlivem aktivace INRPHAR,3I2f> nabývá veličina ENA\_MULT = TRUE, což nám aktivuje *starting value multiplier* (SM), který násobí hodnotu *start value* nadproudové funkce. Po odeznění proudového rázu, tedy ENA\_MULT=FALSE, se nastavená hodnota vrací na svoji původní hodnotu, jak je znázorněno na obrázku níže.



Obr. 4.3 Ošetření zapínacího rázu [9]

## 5 Popis technologického závodu

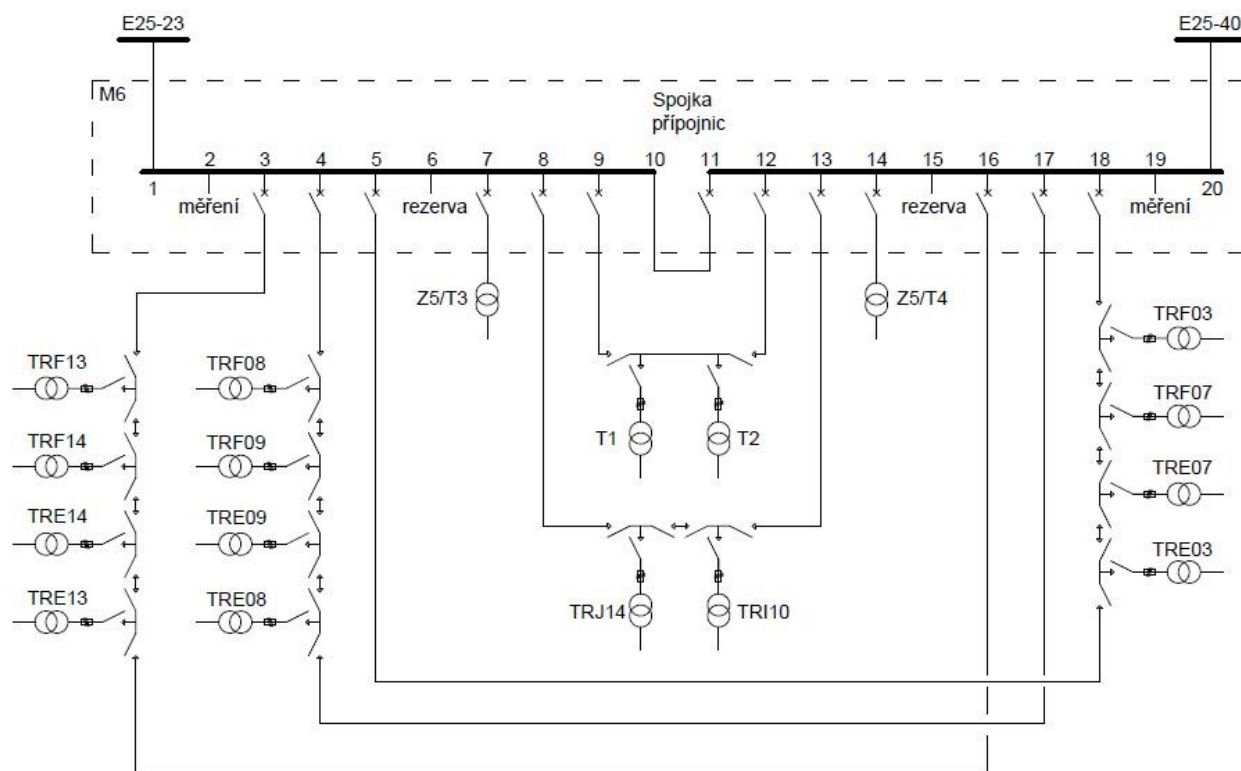
Předmětem diplomové práce je výpočet parametrů pro nastavení ochran při modernizaci rozvodny M6, která je jednou z rozveden sloužících k napájení technologií průmyslového podniku. Účelem celého projektu je realizace nahrazení zastaralých typů ochran moderními řídicími terminály. Nahrazení zastaralých typů ochran moderními řídicími terminály a následná modernizace ovládací části rozvaděče umožní v následném kroku kompletní dálkové řízení a monitorování provozních stavů rozvaděče z dispečinku. Pro nastavení nových řídicích terminálu je třeba vycházet z parametrů ES a samotné rozvodny M6. Schéma celého technologického závodu můžeme vidět na Obr. 5.1.



Obr. 5.1 Přehledové schéma průmyslového podniku

Prívod do areálu je realizován 110 kV přípojnici ze sítě, kde přívodní transformátor transformuje tuto hladinu na 22 kV do rozvodny E25. Z rozvodny E25 je kabely přivedeno napětí do tří různých rozveden. Rozvodny E14, E31 a rozvodny M6, která je předmětem zkoumání v této práci. Z rozveden E14 a E31 je dále napětí transformováno na hladinu 6 kV a posléze rozváděno do objektu na skupiny motorů.

## Popis rozvodny M6



Obr. 5.2 Zjednodušené přehledové schéma rozvodny M6

Tab. 5.1 Parametry a počet spojených transformátorů v rozvodně M6

Vývody	Transformátor	$S_k$ (MVA)	$u_k$ (%)
3-16	TRF13	1,6	6,24
	TRF14	1,6	6
	TRE14	1,6	6,26
	TRE13	1,6	6,22
4-17	TRF08	1,6	6,23
	TRF09	1,6	6,25
	TRE09	1,6	6,25
	TRE08	1,6	6,24
5-18	TRF03	1,6	6,24
	TRF07	1,6	6,47
	TRE07	1,6	6,26
	TRE03	1,6	6,24
8-13	TRJ14	1,6	6,27
	TRI10	1,6	6,29
9-12	T1	1	5,79
	T2	1	5,85
7-T3	T3	1,6	6,59
14-T4	T4	1,6	6,59

Rozvodna, pro kterou má být provedna modernizace, je kobková. Rozvodna je napájena dvěma přívody:

- 1) 1. přívod z rozvodny E25/23 do M6 kobky 01;
- 2) 2. přívod z rozvodny E25/40 do M6 kobky 20;

Veškeré kabelové přívody a vývody 22 kV jsou napojeny na rozvaděče spodem z kabelového prostoru. Napěťová soustava rozvodny je 3PE AC-50Hz 22kV IT, kde je přítomna síť 230V TN-S sloužící k napájení ovládacích obvodů. Rozvodna je vybavena systémem zálohovaného napětí 60V DC.

V rozvodně M6 je umístěn VN rozvaděč 22 kV, který je sestaven z 20-ti polí. Prostorově je uspořádán do 2 řad, dveřmi proti sobě.

- 1. řada sestava polí č. 01 až 10
- 2. řada sestava polí č. 11 až 20

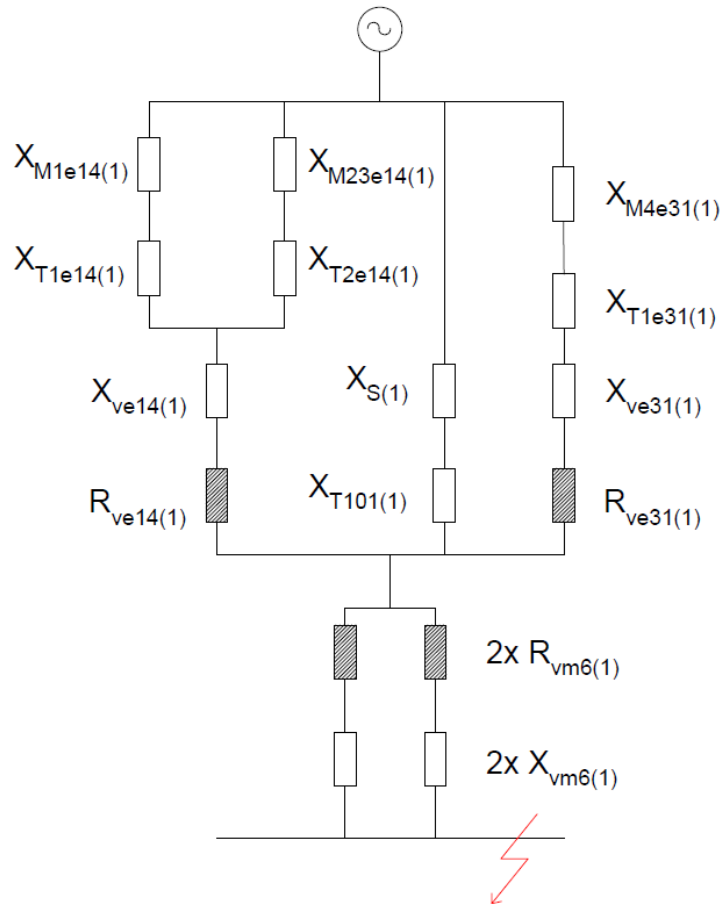
Obě řady jsou propojeny přípojnici mezi poli M6.10 a M6.11. Tyto jsou umístěny pod podlahou rozvodny v kabelovém kanálu. V poli M6.10 (podélná spojka přípojníc) je namontován spojovací můstek a v poli M6.11 je namontován vakuový vypínač. Rozvaděče v rozvodně jsou izolované vzduchem. Svým provedením zajišťují vysokou bezpečnost pro obsluhu a spolehlivost vlastního zařízení. Pro spínání jsou použity elektricky ovládané vakuové vypínače ve výsuvném provedení. Pro zajištění vývodů jsou použity mechanicky ovládané uzemňovače.

V rozvaděči se nachází - mimo polí přívodu a podélných spojek přípojníc - pole měření, vývodu a rezerv. Pole měření je realizováno v kobce M6.19, kde rezervy jsou v polích 6 a 15. Všechny ostatní pole jsou vývodní pole. Zvláštností zapojení z vývodu 3,4,5 a 16,17,18 jsou 4 transformátory, které jsou zapojeny v sérii za sebou. Je nutno tedy s touto atypii počítat a zahrnout ji do výpočtu nastavení parametrů ochrany, jelikož při zapínacím rázu transformátoru může dojít k chybnému vybavení ochrany.

Celé zjednodušené přehledové schéma zapojení rozvodny M6 lze vidět na Obr. 5.2. Parametry zapojených transformátorů je možno vidět v Tab. 5.1.

## 6 Výpočet zkratových poměrů rozvodny

Pro správné nastavení ochran rozvodny je nutno vypočítat zkratové poměry. Vycházíme ze schématu na Obr. 5.1. Toto schéma překreslíme na schéma náhradní, kde jednotlivé části energetického systému reprezentují náhradní impedance. Toto schéma použijeme pro výpočet maximálního zkratu, kde dle normy [10] je nutno počítat se zapojením, které vede k maximálnímu zkratovému proudu do místa poruchy.



Obr. 6.1 Náhradní schéma pro maximální zkrat

### 6.1 Maximální zkrat

Pro výpočet náhradních impedancí je použito vzorců, které jsou zmíněny v kapitole 2.2, případně viz. [10].

#### Náhradní impedance obvodu

##### Transformátory

$$X_{T101(1)} = Z_{T101(1)} = \frac{u_k \cdot U^2}{100 \cdot S_k} = \frac{15,8 \cdot 22^2}{100 \cdot 63} = 1,21 \, \Omega \quad (6.1)$$

$$X_{T1e14(1)} = X_{T2e14(1)} = \frac{u_k \cdot U^2}{100 \cdot S_k} = \frac{8,25 \cdot 22^2}{100 \cdot 16} = 2,49 \, \Omega \quad (6.2)$$

$$X_{T1e31(1)} = Z_{T1e31(1)} = \frac{u_k \cdot U^2}{100 \cdot S_k} = \frac{7,38 \cdot 22^2}{100 \cdot 10} = 3,57 \, \Omega \quad (6.3)$$

#### Nadřazená soustava

$$X_{S(1)} = Z_{S(1)} = \frac{c_{\max} \cdot U^2}{S_{k\max}} = \frac{1,1 \cdot 110^2}{2160} = 6,162 \, \Omega \quad (6.4)$$

Reaktanci soustavy je nutno přepočítat na hladinu zkratu tedy na 22 kV

$$X_{S22(1)} = X_{S22(1)} \cdot \left(\frac{U_1}{U_2}\right)^2 = 6,162 \cdot \left(\frac{22}{110}\right)^2 = 0,246 \, \Omega \quad (6.5)$$

#### Kabelové vedení

Typ a délku kabelových vedení spojujících rozvodnu lze odečíst z přílohy II. Parametry kabelových vedení byly odečteny z katalogu [12]. Indukčnost kabelu se odvíjí podle jeho uložení (trojúhelník, vedle sebe). Jelikož uložení kabelu v rozvodně nebylo známo, byla zvolena nejmenší tabulková hodnota. Pro výpočet induktivní reaktance byl použit vzorec:

$$X_{lk} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_k \quad (6.6)$$

Tab. 6.1 Parametry kabelů

Typ	Označení	S (mm <sup>2</sup> )	Délka (m)	R <sub>k</sub> (Ω/km)	L <sub>k</sub> (H/km)	X <sub>lk</sub> (mΩ/km)
22 CXKVCEY	V <sub>E31</sub>	3x1x240	1055	0,075	0,36	113,10
22 N2XS2Y	V <sub>M6</sub>	3x1x240	400	0,075	0,34	106,81
22 N2XS2YY	V <sub>E14</sub>	3x1x240	1200	0,075	0,34	106,81

Kabel vedoucí do rozvodny E31:

$$R_{VE31(1)} = R_k \cdot l = 0,075 \cdot 1,055 = 0,079 \, \Omega \quad (6.7)$$

$$X_{VE31(1)} = X_{lk} \cdot l = 113,8 \cdot 10^{-3} \cdot 1,055 = 0,120 \, \Omega \quad (6.8)$$

Kabely vedoucí do rozvodny M6:

$$R_{VM6(1)} = \frac{R_k \cdot l}{2} = \frac{0,075 \cdot 0,4}{2} = 0,03 \, \Omega \quad (6.9)$$

$$X_{VM6(1)} = \frac{X_{lk} \cdot l}{2} = \frac{106,81 \cdot 10^{-3} \cdot 0,4}{2} = 0,043 \, \Omega \quad (6.10)$$

Kabel vedoucí do rozvodny E14:

$$R_{VE14(1)} = R_k \cdot l = 0,075 \cdot 1,2 = 0,09 \, \Omega \quad (6.11)$$

$$X_{VE14(1)} = X_{lk} \cdot l = 106,81 \cdot 10^{-3} \cdot 1,2 = 0,128 \, \Omega \quad (6.12)$$

## Motory

K velikosti celkového zkratového proudu přispívají také motory, které při zkratu působí jako zdroj. Na Obr. 5.1 figurují 4 skupiny motorů. Do skupiny M<sub>1</sub> a M<sub>3</sub> patří asynchronní motory. Vycházíme zde z předpokladu, že poměr záběrného proudu k proudu jmenovitému  $i_z = 5$ .

Tab. 6.2 Parametry asynchronních motorů

Skupina	Motor	P (kW)	I <sub>n</sub> (A)
<b>M<sub>1</sub></b>	TK6	1690	185
	TK7	1690	185
	K13	350	42
	K14	350	42
<b>M<sub>3</sub></b>	TK5	1000	110
	K11	350	42
	K12	350	42

Synchronní motory při výpočtu náhradní reaktance počítáme podle [10] jako alternátory. Motory synchronní patří do skupiny M<sub>2</sub> a M<sub>4</sub>.

Tab. 6.3 Parametry synchronních motorů

Skupina	Motor	S (kVA)	I <sub>n</sub> (A)	x <sub>d</sub> (%)
<b>M<sub>2</sub></b>	TK4	3500	372	15
<b>M<sub>4</sub></b>	TK1	1800	204	15
	TK2	1800	204	15

## Impedance asynchronních motorů

### Impedance skupiny M<sub>1</sub>

Motory TK6 a TK7

$$Z_{TK6} = Z_{TK7} = \frac{1}{I_{LR}/I_{rM}} \cdot \frac{U_{rM}}{\sqrt{3} \cdot I_{rM}} = \frac{1}{5} \cdot \frac{6000}{\sqrt{3} \cdot 185} = 3,745 \, \Omega \quad (6.13)$$

Přepočet na hladinu zkratu 22 kV:

$$\dot{Z}_{TK6} = \dot{Z}_{TK7} = Z_{TK7} \cdot \left(\frac{U_2}{U_1}\right)^2 = 3,745 \cdot \left(\frac{22}{6}\right)^2 = 50,349 \, \Omega \quad (6.14)$$



Motory K13 a K14

$$Z_{K13} = Z_{K14} = \frac{1}{I_{LR}/I_{rM}} \cdot \frac{U_{rM}}{\sqrt{3} \cdot I_{rM}} = \frac{1}{5} \cdot \frac{6000}{\sqrt{3} \cdot 42} = 16,495 \, \Omega \quad (6.15)$$

Přepočet na hladinu zkratu 22 kV:

$$\dot{Z}_{K13} = \dot{Z}_{K14} = Z_{K13} \cdot \left(\frac{U_2}{U_1}\right) = 16,495 \cdot \left(\frac{22}{6}\right)^2 = 221,775 \, \Omega \quad (6.16)$$

Celková impedance motorů skupiny M<sub>1</sub>, které jsou umístěny v rozvodně E14-I:

$$\frac{1}{Z_{M1e14(1)}} = \frac{1}{\dot{Z}_{K13}} + \frac{1}{\dot{Z}_{K14}} + \frac{1}{\dot{Z}_{TK6}} + \frac{1}{\dot{Z}_{TK7}} = \frac{1}{221,775} + \frac{1}{221,775} + \frac{1}{50,349} + \frac{1}{50,349} \quad (6.17)$$

$$Z_{M1e14(1)} = X_{M1e14(1)} = 20,517 \, \Omega \quad (6.18)$$

### Impedance skupiny M<sub>3</sub>

Motor TK5:

$$Z_{TK5} = \frac{1}{I_{LR}/I_{rM}} \cdot \frac{U_{rM}}{\sqrt{3} \cdot I_{rM}} = \frac{1}{5} \cdot \frac{6000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 6,298 \, \Omega \quad (6.19)$$

Přepočet na hladinu zkratu 22 kV:

$$\dot{Z}_{TK5} = Z_{TK5} \cdot \left(\frac{U_2}{U_1}\right) = 6,298 \cdot \left(\frac{22}{6}\right)^2 = 84,678 \, \Omega \quad (6.20)$$

Motory K11 a K12 mají stejné parametry jako motory K13 a K14 - platí tedy rovnost.

$$\dot{Z}_{K13} = \dot{Z}_{K14} = \dot{Z}_{K11} = \dot{Z}_{K12} = 221,775 \, \Omega \quad (6.21)$$

Celková impedance motorů skupiny M<sub>3</sub>, které jsou umístěny v rozvodně E14-II:

$$\frac{1}{Z_{M3e14(1)}} = \frac{1}{\dot{Z}_{K11}} + \frac{1}{\dot{Z}_{K12}} + \frac{1}{\dot{Z}_{TK5}} = \frac{1}{221,775} + \frac{1}{221,775} + \frac{1}{84,678} \quad (6.22)$$

$$Z_{M3e14(1)} = X_{M3e14(1)} = 48,013 \, \Omega \quad (6.23)$$

## Impedance synchronních motorů

Synchronní motory TK1 a TK2 skupiny M<sub>4</sub>:

Činné odpory jsou zanedbány.

$$X_{TK1} = X_{TK2} = \frac{x''_d \cdot U_{nG}^2}{100 \cdot S_{nG}} = \frac{15 \cdot 6^2}{100 \cdot 1,8} = 3 \, \Omega \quad (6.24)$$

Přepočet na hladinu zkratu 22 kV:

$$\hat{X}_{TK1} = \hat{X}_{TK2} = X_{TK1} \cdot \left(\frac{U_2}{U_1}\right)^2 = 3 \cdot \left(\frac{22}{6}\right)^2 = 40,333 \, \Omega \quad (6.25)$$

Celková impedance motorů skupiny M<sub>4</sub>, které se nacházejí v rozvodně E31:

$$\frac{1}{X_{M4e31(1)}} = \frac{1}{\hat{X}_{TK1}} + \frac{1}{\hat{X}_{TK2}} = \frac{1}{40,333} + \frac{1}{40,33} \quad (6.26)$$

$$Z_{M4e31(1)} = X_{M4e31(1)} = 20,166 \, \Omega \quad (6.27)$$

Synchronní motor TK4 skupiny M<sub>2</sub>:

$$X_{TK4} = \frac{x''_d \cdot U_{nG}^2}{100 \cdot S_{nG}} = \frac{15 \cdot 6^2}{100 \cdot 3,5} = 1,543 \, \Omega \quad (6.28)$$

Přepočet na hladinu zkratu 22 kV:

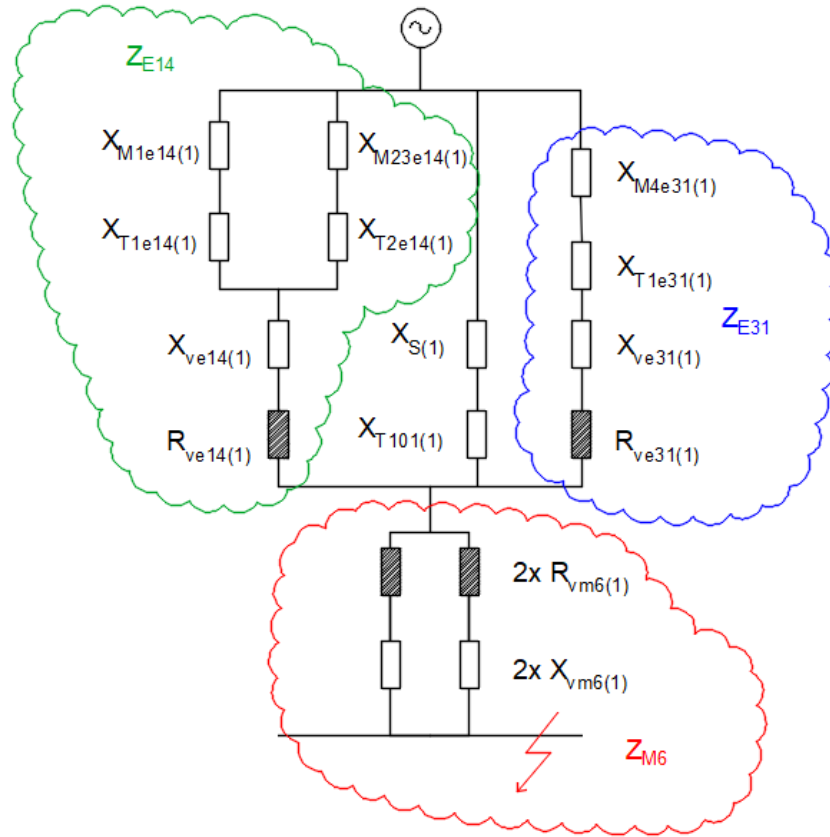
$$\hat{X}_{TK4} = X_{TK4} \cdot \left(\frac{U_2}{U_1}\right)^2 = 1,543 \cdot \left(\frac{22}{6}\right)^2 = 20,743 \, \Omega \quad (6.29)$$

Celková impedance motorů skupin M<sub>3</sub> a M<sub>2</sub>, které se nacházejí v rozvodně E14-II, se skládá z paralelní kombinace rovnice (6.23) a (6.29) :

$$\frac{1}{X_{M34e14(1)}} = \frac{1}{\hat{X}_{M3e14}} + \frac{1}{\hat{X}_{TK4}} = \frac{1}{20,743} + \frac{1}{48,013} \quad (6.30)$$

$$Z_{M34e14(1)} = X_{M34e14(1)} = 14,485 \, \Omega \quad (6.31)$$

## Výpočet celkové nahradní impedance při zkratu na rozvodně M6



Obr. 6.2 Postup zjednodušení náhradního schématu

**Impedance  $Z_{E31}$ :**

$$X_{E31} = X_{M4e31(1)} + X_{T1e31(1)} + X_{ve31(1)} = 23,858 \, \Omega \quad (6.32)$$

$$R_{E31} = R_{ve31(1)} = 0,079 \, \Omega \quad (6.33)$$

$$Z_{E31} = 0,079 + j23,858 \, \Omega \quad (6.34)$$

**Impedance  $Z_{E14}$ :**

$$X_{E14} = \frac{(X_{M1e14(1)} + X_{T1e14(1)}) \cdot (X_{M23e14(1)} + X_{T2e14(1)})}{(X_{M1e14(1)} + X_{T1e14(1)}) + (X_{M23e14(1)} + X_{T2e14(1)})} + X_{ve14(1)} \quad (6.35)$$

$$X_{E14} = \frac{(20,516 + 2,495) \cdot (14,485 + 2,495)}{(20,516 + 2,495) + (14,485 + 2,495)} + 0,128 \quad (6.36)$$

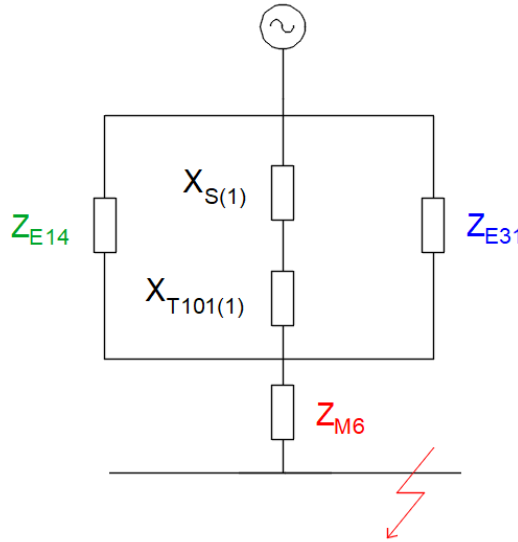
$$X_{E14} = 9,899 \, \Omega \quad (6.37)$$

$$R_{E14} = R_{V2e14(1)} = 0,09 \, \Omega \quad (6.38)$$

$$Z_{E14} = 0,09 + j9,899 \, \Omega \quad (6.39)$$

**Impedance  $Z_{M6}$ :**

$$Z_{M6} = 0,03 + j0,043 \, \Omega \quad (6.40)$$



Obr. 6.3 Zjednodušené náhradní schéma

**Celková impedance  $Z_{\text{celk}}$ :**

$$Z_{S/E14} = \frac{(X_{S(1)} + X_{T101(1)}) \cdot Z_{E31}}{(X_{S(1)} + X_{T101(1)}) + Z_{E31}} = \frac{(j1,46) \cdot (0,079 + j23,858)}{(j1,46) + (0,079 + j23,858)} = 0,249 + j1375 \, \text{m}\Omega \quad (6.41)$$

$$\begin{aligned} Z_{\text{CELK}} &= \frac{Z_{E14} \cdot Z_{S/E14}}{Z_{E14} + Z_{S/E14}} + Z_{M6} \rightarrow \\ &= \frac{(0,09 + j9,899) \cdot (0,000249 + j1,375)}{(0,09 + j9,899) + (0,000249 + j1,375)} + (0,03 + j0,043) \end{aligned} \quad (6.42)$$

$$Z_{\text{CELK}} = 1,250 \, \Omega \quad (6.43)$$

**Maximální zkrat:**

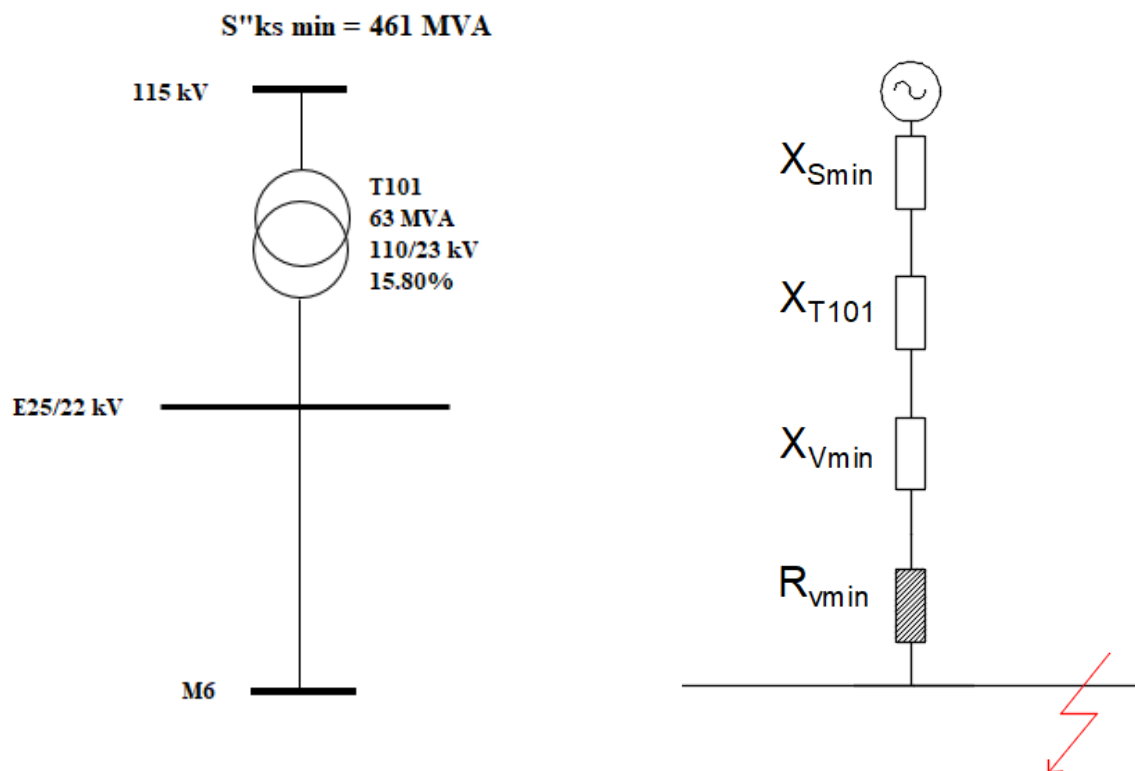
$$I''_{k3\max} = \frac{c_{\max} \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |Z_{\text{CELK}}|} = \frac{1,1 \cdot 22}{\sqrt{3} \cdot |1,250|} = 11,178 \, \text{kA} \quad (6.44)$$

**Zkratový výkon:**

$$S''_{k3\max} = I''_{k3\max} \cdot \sqrt{3} \cdot U_n = 11,178 \cdot \sqrt{3} \cdot 22 = 425,920 \, \text{MVA} \quad (6.45)$$

## 6.2 Minimální zkrat

Při výpočtu minimálního zkratového proudu musíme splnit požadavky, které jsou uvedeny v kapitole 2.2 nebo [10]. Náhradní schéma splňující tyto požadavky je následující:



Obr. 6.4 Přehledové a náhradní schéma pro minimální zkrat

### Transformátory:

Výpočet transformátoru T101 je zmíněn ve vzorci (6.1):

$$X_{T101(1)} = Z_{T101(1)} = 1,21 \, \Omega \quad (6.46)$$

### Nadřazená soustava:

$$\dot{X}_{Smin} = \frac{c_{min} \cdot U^2}{S''_{kmin}} = \frac{1 \cdot 110^2}{461} = 26,250 \, \Omega \quad (6.47)$$

Reaktanci soustavy je nutno přepočítat na hladinu zkratu

$$X_{Smin} = Z_{Smin} = \dot{X}_{Smin} \cdot \left(\frac{U_2}{U_1}\right)^2 = 26,250 \cdot \left(\frac{22}{110}\right)^2 = 1,05 \, \Omega \quad (6.48)$$

## Kabelové vedení

Kabely vedoucí do rozvodny M6:

$$R_{Vmin} = R_{lk} \cdot l = 0,075 \cdot 0,4 = 0,03 \, \Omega \quad (6.49)$$

$$X_{Vmin} = X_{lk} \cdot l = 106,81 \cdot 10^{-3} \cdot 0,4 = j0,043 \, \Omega \quad (6.50)$$

Odpor  $R_{Vmin}$  je nutné dle normy [10] nebo viz. kapitola 2.2 přepočítat na největší dovolenou teplotu. Podle [11] můžeme zavést předpoklad, že:

$$\alpha = 4,3 \cdot 10^{-3} \, K^{-1} \quad (6.51)$$

Z katalogu [12] je vyčteno, že  $\vartheta_0$  při zkratu kabelu typu 22-N2XS2Y 3x1x240 je:

$$\vartheta_0 = 250 \, ^\circ C \quad (6.52)$$

Odpor při maximální teplotě dle (2.8)

$$R_{Vmax} = [1 + \alpha \cdot (\vartheta_0 - 20)] \cdot R_{Vmin} = [1 + 4,3 \cdot 10^{-3} \cdot (250 - 20)] \cdot 0,03 \quad (6.53)$$

$$R_{Vmax} = 0,054 \, \Omega \quad (6.54)$$

**Celková náhradní impedance:**

$$Z_{CELM} = \sqrt{R_{Vmax}^2 + (X_{Vmin} + X_{Smin} + X_{T101(1)})^2} = 2,306 \, \Omega \quad (6.55)$$

**Minimální zkrat:**

$$I''_{k2} = \frac{c_{min} \cdot U_n}{2 \cdot |Z_{CELM}|} = \frac{1 \cdot 22}{2 \cdot |2,306|} = 4,768 \, kA \quad (6.56)$$

$$I''_{k3} = \frac{c_{min} \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |Z_{CELM}|} = \frac{1 \cdot 22}{\sqrt{3} \cdot |2,306|} = 5,506 \, kA \quad (6.57)$$

**Zkratový výkon:**

$$S''_{kmin} = I''_{k3} \cdot \sqrt{3} \cdot U_n = 5,506 \cdot \sqrt{3} \cdot 22 = 209,815 \, MVA \quad (6.58)$$

## 6.3 Průchozí zkratový proud

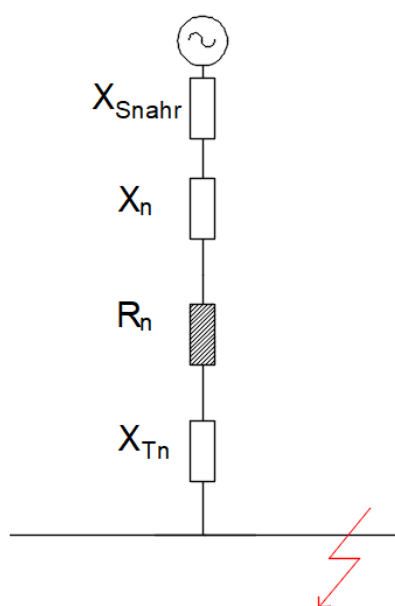
Minimální dvoufázový zkrat na zkoumané rozvodně vyšel 4,768 kA. Ze znalosti velikosti minimálního zkratového proudu lze vypočítat hodnotu nastavení na ochraně, při jaké hodnotě proudu má vyslat impuls k vypnutí objektu. Nicméně je třeba si uvědomit druh a místo poruchy, při které dosáhne poruchový proud právě této hodnoty. Tento proud se na rozvodně M6 projeví tehdy, pokud porucha vznikne na VN straně rozvodny. V rozvodně M6 máme transformátory napětí 22/0,4 kV, které jsou chráněny ochranou REF 620. Tato ochrana dokáže ochránit i zařízení za transformátorem. Proto je nutné vypočítat průchozí zkratový proud transformátoru z NN na VN stranu. Tento průchozí zkratový

proud vzniklý na NN straně transformátoru ovlivňuje proudové poměry na VN straně a velmi často vede k hodnotám nejmenšího poruchového proudu.

V rozvodně M6 se nachází atypické zapojení čtyř transformátorů za sebou. Existuje tam rovněž zapojení buď dvou transformátorů za sebou, anebo jeden samostatný. Každá kobka má svojí ochranu REF 620, která musí být nastavena na hodnotu nejmenšího poruchového proudu v dané větvi. Ve všech případech výpočtů průchozích zkratových proudů budeme přistupovat obdobně jak je zmíněno dále.

Převod soustavy na náhradní impedanci s použitím minimálního zkratového výkonu vypočítaného ve vzorci (6.58):

$$X_{Snahr} = \frac{c_{min} \cdot U^2}{S''_{kmin}} = \frac{1 \cdot 22^2}{209,815} = 2,306 \, \Omega \quad (6.59)$$



Obr. 6.5 Obecné náhradní schéma výpočtu průchozího zkratového proudu

Při výpočtu budeme vždy vycházet z náhradního schématu na Obr. 6.5. Impedance  $Z_n$  skládající se z odporu  $R_n$  a reaktance  $X_n$ , reprezentuje kabelový přívod od kobky ke transformátoru. Reaktance  $X_{Tn}$  reprezentuje reaktanci transformátoru. Při výpočtu náhradní reaktance transformátoru volíme ze skupiny transformátorů pouze ten, který nám omezí zkratový proud v největší míře. Ze skupiny tedy vždy vybíráme transformátor s největší hodnotou napětí nakrátko.

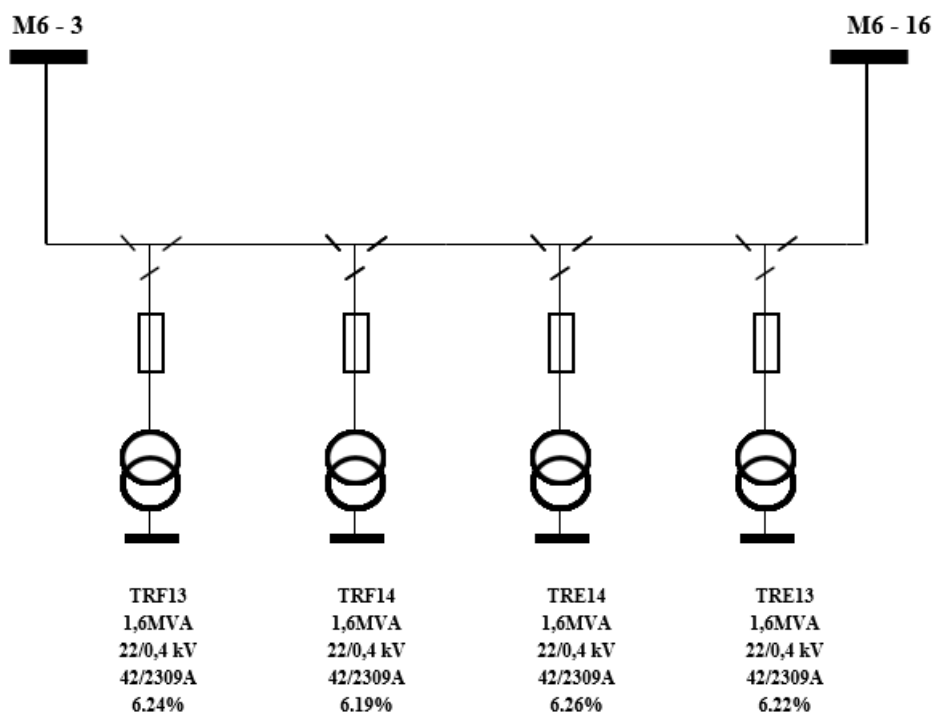
### Minimální průchozí zkratový proud vývodu 3-16

Na Obr. 6.6 vidíme, že transformátor TRE14 má největší hodnotu napětí nakrátko.

$$X_{TRE14} = \frac{u_k \cdot U^2}{100 \cdot S_k} = \frac{6,26 \cdot 22^2}{100 \cdot 1,6} = 18,937 \, \Omega \quad (6.60)$$

Tab. 6.4. Parametry kabelu 22-N2XS2Y

Typ	S (mm <sup>2</sup> )	R <sub>k</sub> (Ω/km)	L <sub>k</sub> (mH/km)	X <sub>lk</sub> (Ω/km)
22-N2XS2Y	3x1x185	0,099	0,36	0,113



Obr. 6.6 Transformátory rozvodny M6 kobky 3-16

S pomocí vzorců (6.49) až (6.53) byly vypočítány následující parametry kabelových vedení.

Tab. 6.5 Přepočítané parametry kabelů kobky 3-16

Odkud	Kam	Délka (m)	R (Ω)	X <sub>l</sub> (Ω)	R <sub>max</sub> (Ω)
M6-3	TRE14	447	0,044	0,050	0,058
M6-16	TRE14	440	0,043	0,050	0,057

**Impedance vývodu M6-3:**

$$X_{M3} = X_{TRE14} + X_{Snahr} + X_{V3} = 18,937 + 0,152 + 2,306 = 21,395 \, \Omega \quad (6.61)$$

$$R_{M3} = R_{vmax3} = 0,058 \, \Omega \quad (6.62)$$

$$Z_{M3} = \sqrt{R_{M3}^2 + X_{M3}^2} = 21,402 \, \Omega \quad (6.63)$$

**Průchozí zkratový proud vývodu M6-3:**

$$I''_{k2minM3} = \frac{c_{min} \cdot U_n}{2 \cdot |Z_{CELKm}|} = \frac{1 \cdot 22}{2 \cdot |21,402|} = 513 \, A \quad (6.64)$$



**Impedance vývodu M6-16:**

$$X_{M16} = X_{TRE14} + X_{Snahr} + X_{V16} = 18,937 + 0,152 + 2,203 = 21,293 \, \Omega \quad (6.65)$$

$$R_{M16} = R_{vmax16} = 0,0566 \, \Omega \quad (6.66)$$

$$Z_{M16} = \sqrt{R_{M16}^2 + X_{M16}^2} = 21,3 \, \Omega \quad (6.67)$$

**Průchozí zkratový proud vývodu M6-16:**

$$I''_{k2minM16} = \frac{c_{min} \cdot U_n}{2 \cdot |Z_{CELKm}|} = \frac{1 \cdot 22}{2 \cdot |21,3|} = 515 \, A \quad (6.68)$$

**Předpoklad výpočtu**

Z výše zmíněného výpočtu lze usoudit, že velikost průchozího zkratového proudu bude v kobkách 3 a 16 téměř totožná. Tento fakt je způsoben tím, že jednotlivé impedance viz. Obr. 6.5, jsou totožné při obou výpočtech kromě impedance kabelového vedení. Impedance vedení vzhledem ke své velikosti ovlivní výpočet minimálně až zanedbatelně. Na základě této úvahy lze výpočet zjednodušit pouze na jednu kobku.

Zavedeme zjednodušující předpoklad výpočtu a to, že velikost vypočítaného poruchového proudu vývodu kobky X se rovná proudu kobky Y za podmínky, že kobky jsou mezi sebou propojeny. Pokud-li aplikujeme tento předpoklad na kobky 3-16, pak tedy:

$$I''_{k2minM3} = I''_{k2minM16} = 515 \, A \quad (6.69)$$

**Výpočet průchozích zkratových proudů zbylých kobek**

Obdobným způsobem vypočítáme zbylé průchozí zkratové proudy ve všech kobkách, a proto již dále nebudou detailně rozepsána. Parametry transformátorů s největším napětím nakrátko můžeme odečíst v Tab. 5.1. Z kobek do transformátorů vedou kabelová vedení dvojího typu:

Kabelové vedení 22-N2XS2Y, jehož parametry lze odečíst v Tab. 6.4 anebo [12]. Přepočítané parametry kabelů, které spojují transformátory s jednotlivými kobkami, jsou v Tab. 6.6.

*Tab. 6.6 Přepočítané parametry kabelů 22-N2XS2Y rozvodny M6*

Odkud	Kam	Délka (m)	$R(\Omega)$	$X_l(\Omega)$	$R_{max}(\Omega)$
M6-4	TRE09	300	0,03	0,033	0,036
M6-17	TRE09	295	0,03	0,033	0,037
M6-5	TRF07	225	0,022	0,025	0,028
M6-18	TRF07	295	0,028	0,033	0,032
M6-8	TRI10	490	0,045	0,055	0,049
M6-13	TRI10	260	0,025	0,028	0,033
M6-9	T2	150	0,015	0,018	0,019
M6-12	T2	150	0,015	0,018	0,018

Kabelové vedení 22-AXEKVCEY, jehož parametry a přepočítané hodnoty lze odečíst v tabulkách níže (Tab. 6.7 a Tab. 6.8).

*Tab. 6.7 Parametry kabelu 22-AXEKVCEY*

Typ	S (mm <sup>2</sup> )	R <sub>k</sub> (Ω/km)	L <sub>k</sub> (mH/km)	X <sub>lk</sub> (Ω/km)
22-AXEKVCEY	3x1x70	0,443	0,61	0,192

*Tab. 6.8 Přepočítané parametry kabelů 22-AXEKVCEY rozvodny M6*

Odkud	Kam	Délka (m)	R(Ω)	X <sub>l</sub> (Ω)	R <sub>max</sub> (Ω)
M6-7	Z5 - T3	105	0,46	0,020	0,58
M6-14	Z5 - T4	85	0,36	0,017	0,48

Výsledky výpočtů průchozích zkratových proudů jednotlivých kobek jsou uvedeny v Tab. 6.9. Pokud je porovnáme s minimálním zkratovým proudem rozvodny M6 ( $I''_{k2} = 4,768$  kA) tak zjistíme, že hodnoty průchozích zkratových proudů jsou znatelně nižší. Na tyto průchozí zkratové proudy dále nastavíme ochrany v kobkách. Zde musíme dbát na fakt, že vlivem nízké hodnoty zkratového proudu na který nastavíme ochranu a atypie zapojení čtyř transformátorů za sebou, může dojít k neselektivnímu vypnutí z důvodu proudového rázu při zapnutí transformátoru. Toto neselektivní vypnutí je nutno ošetřit při nastavení ochrany.

*Tab. 6.9 Průchozí zkratové proudy rozvodny M6*

Vývody	X <sub>c</sub> (Ω)	R <sub>c</sub> (Ω)	Z <sub>c</sub> (Ω)	I'' <sub>k2min</sub> (kA)
3-16	21,382	0,056	21,481	0,515
4-17	21,403	0,039	21,403	0,514
5-18	22,043	0,029	22,043	0,499
8-13	21,588	0,063	21,589	0,510
9-12	30,760	0,019	30,760	0,358
7-T3	22,390	0,059	22,391	0,491
14-T4	22,378	0,048	22,379	0,492

## 7 Nastavení ochran rozvodny M6

Rozvodna se skládá z 20-ti polí, kde - až na kobku 10 - je v každé kobce zaimplementována ochrana REF 620. Na každé ochraně vývodního pole se nastaví 3-f nadproudová nesměrová funkce. Pro chránění jsou použity stupně s vyšším a nižším rozsahem seřaditelnosti. Mžikový stupeň není použit

- Stupeň nižšího rozsahu seřaditelnosti PHLTOC,3I> → pro detekci přetížení (nadproudu)
- Stupeň vyššího rozsahu seřaditelnosti PHHTOC,3I>> → pro detekci zkratu
- Mžikový stupeň PHITOC,3I>>> → není použit

### 7.1 Nastavení ochran přívodů a podélné spojky

Přívod do rozvodny M6 se nachází v kobkách 1 a 20. Pro zachování správné selektivity ochran je třeba brát v úvahu nastavení nadřazené ochrany.

Tab. 7.1 Nastavení nadřazené ochrany v kobkách E25-23/40

$p_i$ (-)	$I>$ (A)	$I>>$ (A)	$t_{nad}$ (s)
2000/5	720	3000	0,9

#### Ochrana přívodu

Při nastavení na detekci nadproudu vycházíme buď z maximálního dovoleného proudu kabelu, nebo jmenovitého proudu jistícího transformátoru. Jistící transformátor snese trvalé zatížení 120%  $I_n$ .

Tab. 7.2 Parametry přívodní kobky pro nastavení ochrany

$I_n$ JTP (A)	120% $I_n$ JTP (A)	$p_i$	$I_{max}$ (A)	$I''_{k2min}$ (kA)	$k$ (-)
750	900	750/1	873	4,768	0,4

#### PHLTOC,3I>

Dovolený proud při přetížení je dán maximálním proudovým zatížením kabelu  $I_{max}$  jak lze vidět v Tab. 7.2. Koeficienty bezpečnosti a citlivosti nejsou použity. Limitní hodnota proudového zatížení kabelu je dle výrobce 873 A. Pokud by koeficienty byly zahrnuty do výpočtu, bude nastavený proud ochrany při vypnutí nad  $I_{max}$ . V praxi to znamená, že ochrana by zaznamenala a vypnula přetížení při  $I > I_{max}$ . Toto nastavení může vést k poškození či zničení kabelového vedení. Pro nastavení popudu zvolíme hodnotu menší než  $I_{max}$  tedy  $I_{pmax}=850$  A

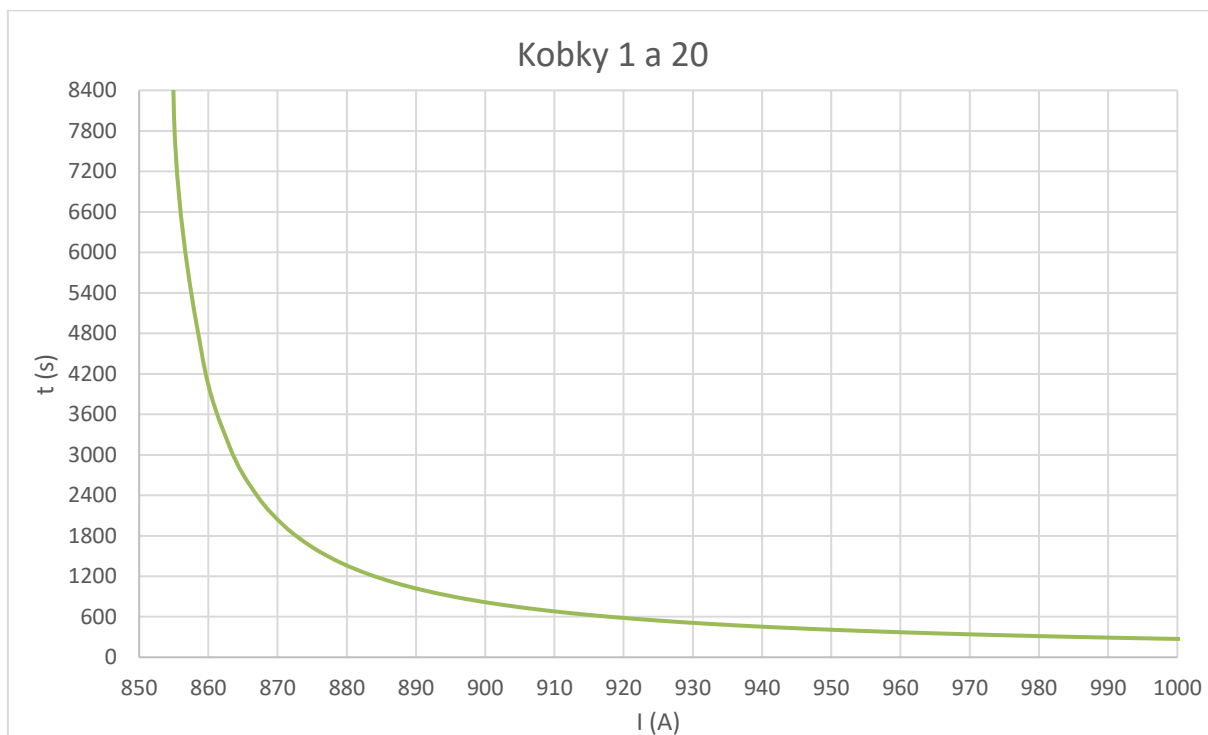
$$I_{rs} \geq \frac{I_{pmax}}{p_i} = \frac{850}{\frac{750}{1}} = 1,13 \text{ A} \quad (7.1)$$

Dle Tab. 7.1 je nadproudový stupeň nadřazené ochrany nastaven na 720 A. Tento nadproud je pod  $I_{max}$  kabelového vedení. Bylo tedy doporučeno změnit nastavení nadproudového stupně na nadřazené ochraně na hodnotu  $I_{pmax}=850$  A.

Pro vypnutí nadproudu zvolíme závislou charakteristiku podle [9] s následujícími konstantami.

Tab. 7.3 Koeficienty závislé charakteristiky

Typ	A	B	C
(14) IEC Long Time Inverse	120	0	1



Obr. 7.1 Vypínací char. přívodní kobky rozvodny M6

Explicitní nastavení závislé charakteristiky podle (4.1)

$$t = \left( \frac{120}{\left( \frac{I}{850} \right)^1 - 1} + 0 \right) \cdot 0,4 \quad (7.2)$$

### PHHTOC,3I>>

Minimální zkratový proud na přívodu do rozvodny je vypočítán v kapitole 6.2. Při pohledu na nastavení nadřazené nadproudové ochrany v Tab. 7.1 je zkratový stupeň ochrany nastaven na hodnotu 3000 A. Pro zachování selektivity je vhodné zkratovou spoušť nastavit na hodnotu menší. Minimální proud, na který můžeme nastavit zkratovou spoušť v přívodních kobkách, je vypočten následovně:

$$I_{3-16} = (4 \cdot 42) = 168 \text{ A} \quad (7.3)$$

$$I_{\min} \geq \sum_{n=1}^k I_n + 5 \cdot (I_{3-16}) \rightarrow 725 + 5 \cdot (168) = 1565 \text{ A} \cong 2500 \text{ A} \quad (7.4)$$

Kde:

$\sum_{n=1}^k I_n$  – součet primárních proudů všech transformátorů v rozvodně M6

$5 \cdot (I_{3-16})$  - proudový ráz při zapnutí transformátorů zapojených mezi kobkami 3 a 16.

Hodnota nastavení zkratové spouště kde  $k_c = 1,2$  :

$$I_{rs} < \frac{I_{min}}{k_c \cdot p_i} = \frac{2500}{1,2 \cdot \frac{750}{1}} = 2,77 \text{ A} \quad (7.5)$$

Časové nastavení nadřazené ochrany  $t_{nad} = 0,9$  s. Nastavení časového zpoždění ochrany:

$$t_{vyp} = t_{nad} - 0,2 = 0,7 \text{ s} \quad (7.6)$$

### Ochrana podélné spojky

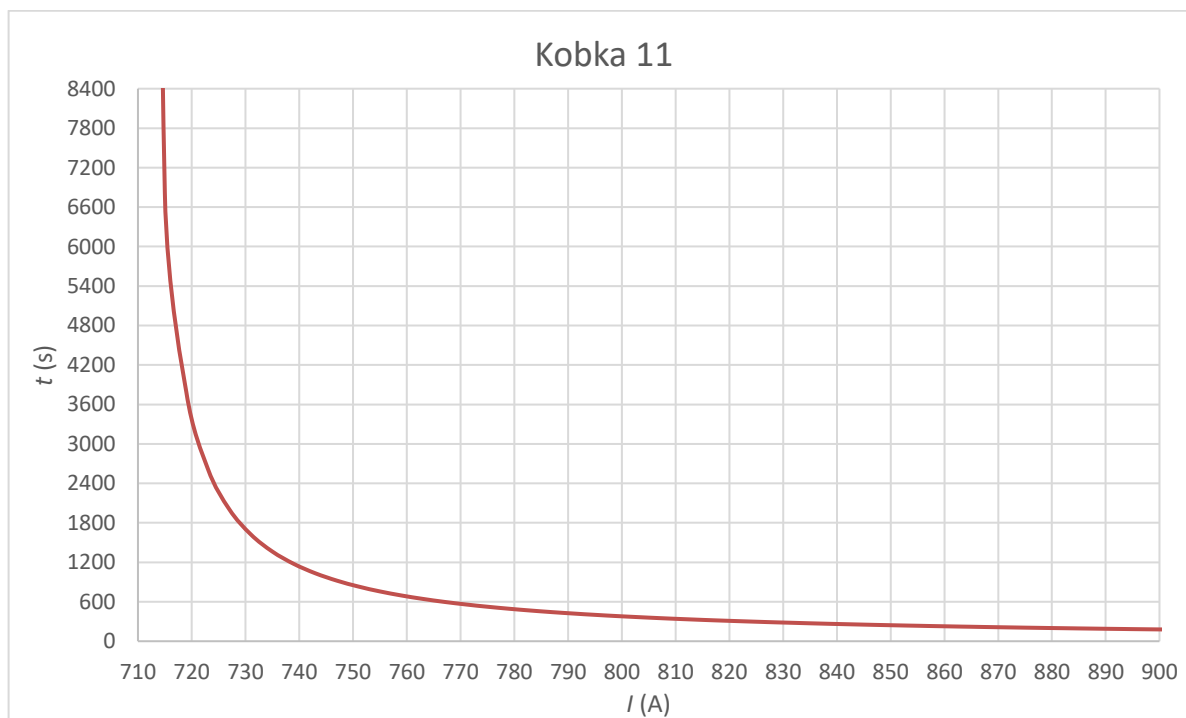
Tab. 7.4 Parametry podélné spojky

$I_n$ JTP (A)	120% $I_n$ JTP (A)	$p_i$	$I''_{k2min}$ (kA)	$k$ (-)
600	720	600/1	4,768	0,4

### PHLTOC,3I>

Zde pro nastavení detekce nadproudu je limitní proud JTP. Nastavení popudu je  $I_{pnJTP}=710$  A

$$I_{rs} \geq \frac{I_{pnJTP}}{p_i} = \frac{710}{\frac{600}{1}} = 1,18 \text{ A} \quad (7.7)$$



Obr. 7.2 Vypínací char. podélné spojky kobky 11 rozvodny M6

Explicitní nastavení závislé charakteristiky podle (4.1).

$$t = \left( \frac{120}{\left( \frac{I}{710} \right)^1 - 1} + 0 \right) \cdot 0,4 \quad (7.8)$$

### PHHTOC,3I>>

Nastavení ochrany probíhá stejně jako nastavení ochrany přívodní kobky viz. rovnice (7.3) a (7.4). Rozdílem je, že proud tekoucí podélnou spojkou bude menší než proud tekoucí přívodním kabelem. Jelikož je rozvodna M6 okružována, pak můžeme říci, že celkový součet primárních proudů transformátorů je poloviční.

Minimální proud pro nastavení zkratové spouště:

$$I_{Smin} = \frac{\sum_{n=1}^k I_n}{2} + 5 \cdot (I_{3-16}) = \frac{725}{2} + 5 \cdot (168) = 1202 \text{ A} \approx 2000 \text{ A} \quad (7.9)$$

Hodnota nastavení zkratové spouště:

$$I_{rs} < \frac{I_{Smin}}{k_c \cdot p_i} = \frac{2000}{1,2 \cdot \frac{600}{1}} = 2,77 \text{ A} \quad (7.10)$$

Časové nastavení je stejné jako nastavení ochran v přívodních kobkách.

$$t_{vyp} = t_{nad} - 0,2 = 0,7 \text{ s} \quad (7.11)$$

## 7.2 Nastavení ochran vývodu

Téměř ve všech vývodních kobkách je limitujícím faktorem pro výpočet přetížení proud JTP, jak je zvýrazněno v Tab. 7.5. Tento fakt nám do jisté míry výpočet usnadňuje, jelikož jsou zde instalovány JTP s totožnými parametry.

### a) Kobky 3 a 16

Tab. 7.5 Parametry kobky 3 a 16

$I_n$ JTP (A)	120% $I_n$ JTP (A)	$p_i$	$I_{max}$ (A)	$I''_{k2min}$ (kA)	$k$ (-)
200	240	200/1	411	0,515	0,4

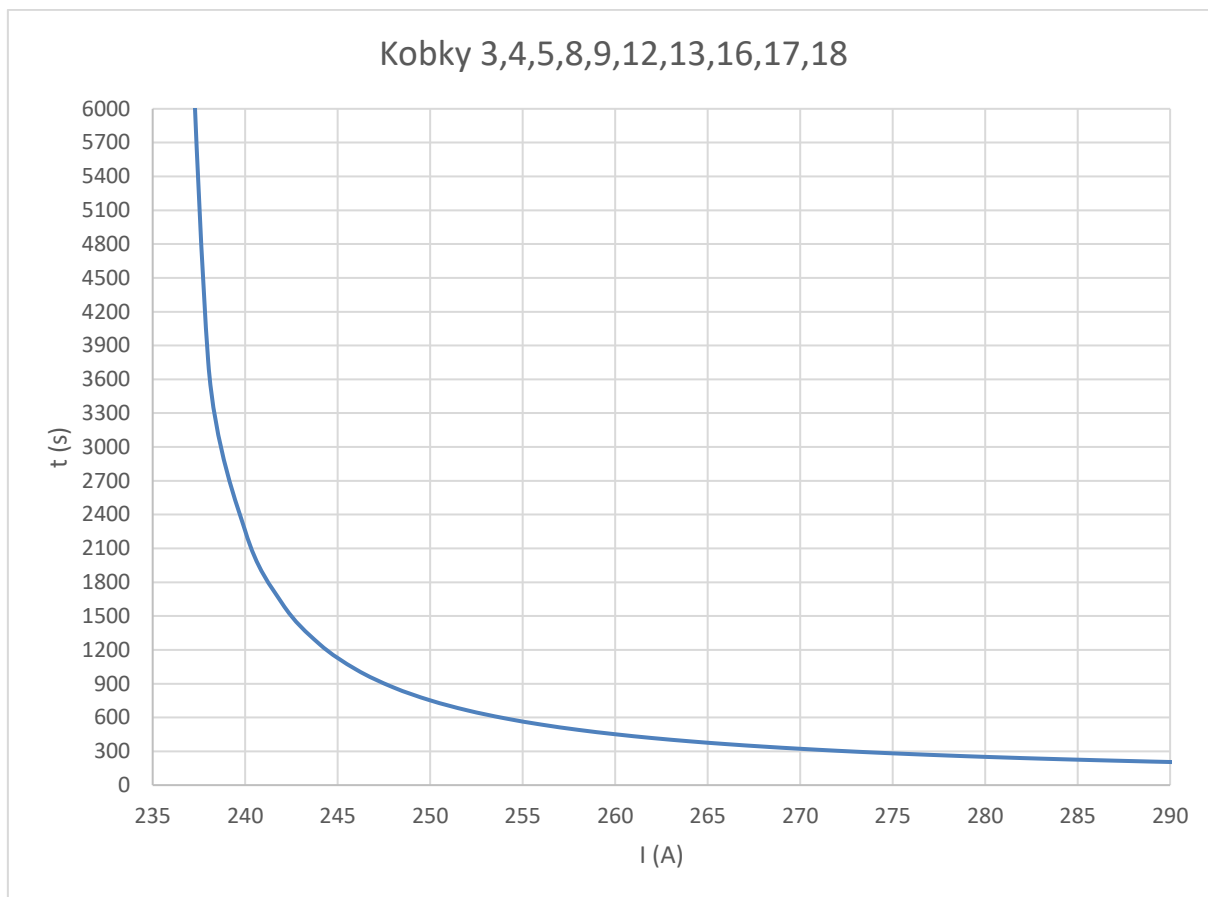
### PHLTOC,3I>

Níže zmíněné nastavení ochrany pro detekci nadproudu je stejné pro kobky 3, 4, 5, 8, 9, 12, 13, 16, 17, 18. U těchto kobek je rovněž limitujícím faktorem proud JTP.

$$I_{rs} \geq \frac{I_{pnJTP}}{p_i} = \frac{235}{\frac{200}{1}} = 1,175 \text{ A} \quad (7.12)$$

Explicitní nastavení závislé charakteristiky podle (4.1).

$$t = \left( \frac{120}{\left( \frac{I}{235} \right)^1 - 1} + 0 \right) \cdot 0,4 \quad (7.13)$$



Obr. 7.3 Vypínací char. vývodních kobek s více transformátory rozvodny M6

Jediné vývodní kobky, které mají jinak nastavený stupeň PHLTOC,3I>, jsou kobky 14 a 7. Do těchto vývodů je zapojen pouze jeden transformátor. Tím pádem limitujícím faktorem nastavení ochrany těchto vývodů bude primární proud tohoto transformátoru.

#### PHHTOC,3I>>

Minimální zkratový proud je dán průchozím zkratovým proudem, který mezi kobkou 3 a 16 může nastat. Výpočet tohoto proudu je v kapitole 6.3 a souhrn těchto proudů lze vidět v Tab. 6.9.

$$I_{rs} < \frac{I''_{k2min}}{k_c \cdot p_i} = \frac{515}{1,2 \cdot \frac{200}{1}} = 2,13 \text{ A} \quad (7.14)$$

Časové nastavení ochrany:

$$t_{vyp} = t_{nad} - 0,2 = 0,5 \text{ s} \quad (7.15)$$

Pro opakování výpočtu je zde uvedena přehledná tabulka pro nastavení ochran jednotlivých kobek.

Tab. 7.6 Hodnoty popudových proudů při nastavení ochran na nadproud a zkrat

Kobka	3I> (A)	3I>> (A)	p <sub>i</sub> (-)	t <sub>typ</sub> (s)
1-20	1,10	2,77	750/1	0,7
10-11	1,18	2,77	600/1	0,7
3-16	1,175	2,13	200/1	0,5
4-17	1,175	2,14	200/1	0,5
5-18	1,175	2,08	200/1	0,5
8-13	1,175	2,10	200/1	0,5
9-12	1,175	1,49	200/1	0,5

#### b) Kobky 14 a 7

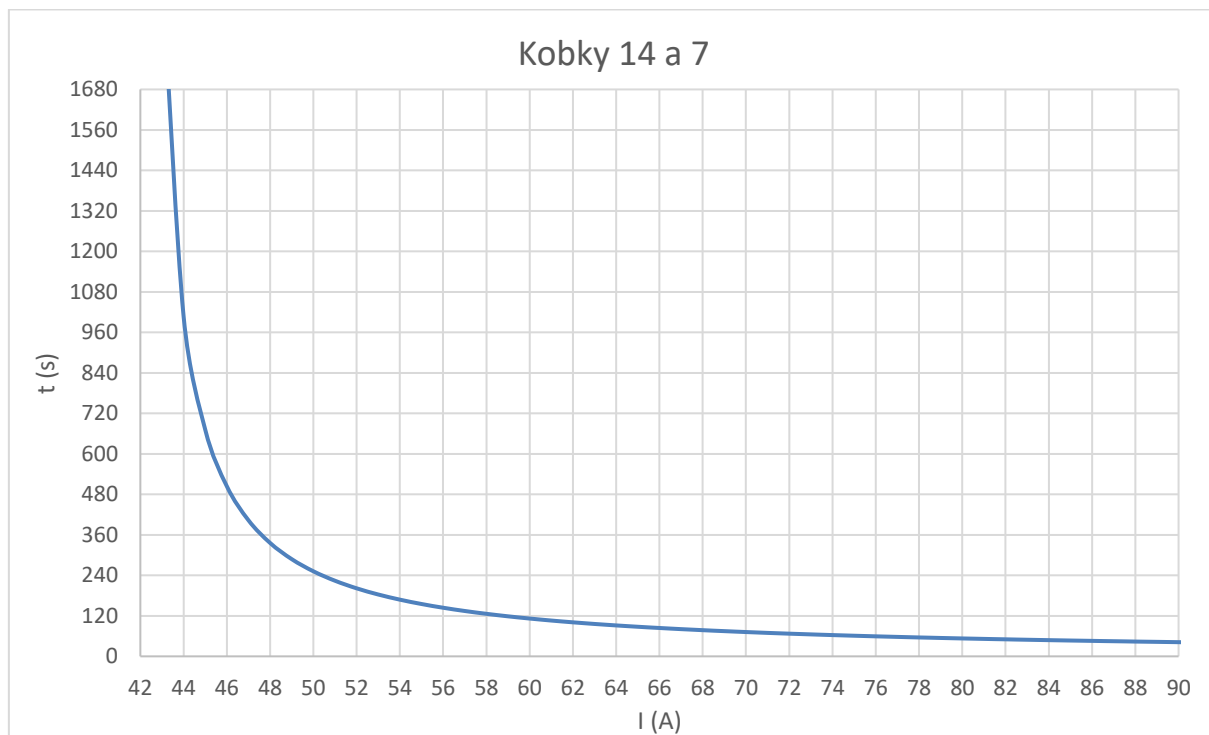
Jelikož je u těchto kobek vyveden kabelový vývod, který spojuje pouze jeden transformátor, bude limitujícím faktorem primární proud tohoto transformátoru. V obou kobkách jsou transformátory s totožnými parametry.

Tab. 7.7 Parametry transformátorů kobky 3 a 16

S <sub>k</sub> (MVA)	I <sub>1</sub> (A)	I <sub>2</sub> (A)	u <sub>k</sub> (%)
1,6	42	2199	6,59

PHLTOC,3I>

$$I_{rs} \geq \frac{I_1}{p_i} = \frac{42}{\frac{200}{1}} = 0,21 \text{ A} \quad (7.16)$$



Obr. 7.4 Vypínací char. vývodních kobek s jedním transformátorem rozvodny M6



Explicitní nastavení závislé charakteristiky podle (4.1).

$$t = \left( \frac{120}{\left(\frac{I}{42}\right)^1 - 1} + 0 \right) \cdot 0,4 \quad (7.17)$$

**PHHTOC,3I>>**

Minimální zkratový proud je dán průchozím zkratovým proudem transformátoru viz. Tab. 6.9.

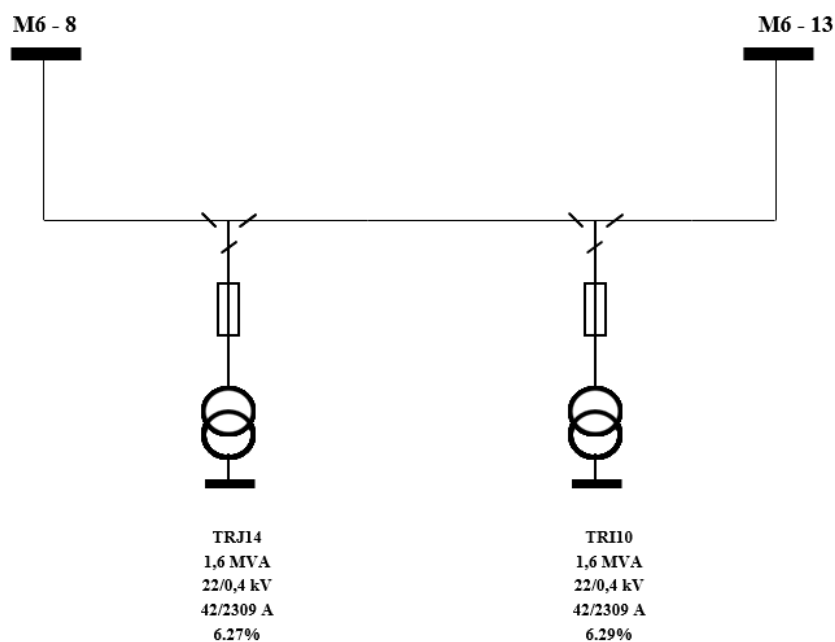
$$I_{rs} < \frac{I''_{k2min}}{k_c \cdot p_i} = \frac{491}{1,2 \cdot \frac{200}{1}} = 2,05 \text{ A} \quad (7.18)$$

Časové nastavení ochrany:

$$t_{vyp} = t_{nad} - 0,2 = 0,5 \text{ s} \quad (7.19)$$

### 7.3 Nastavení start value multiplication (SM)

V rozvodně M6 máme atypické zapojení čtyř, či dvou transformátorů za sebou. Je nutno vypočítat nárazový proud a zjistit, jestli jeho velikost není větší než popudový proud zkratového stupně ochrany.



*Obr. 7.5 Parametry zapojení dvou transformátorů za sebou*

Celková velikost proudu při současném zapnutí obou transformátorů:

$$I_{cT} = 5 \cdot \sum_{n=1}^k I_n = 5 \cdot (42 + 42) = 420 \text{ A} \quad (7.20)$$

Velikost popudového proudu nastavené ochranou (hodnoty viz. Tab. 7.6):

$$I_p = 3I \gg I_{nPTP} = 2,1 \cdot 200 = 420 \text{ A} \quad (7.21)$$

Pro správnou funkci ochrany musí být splněna podmínka:

$$I_p > I_{cT} \quad (7.22)$$

Podmínka zde není splněna, a proto je třeba nastavit hodnotu start multiplier na hodnotu takovou, aby byla podmínka (7.22) dodržena. Zvolenou hodnotu start multiplier vypočítáme podle následujícího vzorce:

$$SM = \frac{I_{cT}}{\frac{I_{nPTP}}{3I \gg}} = \frac{420}{\frac{200}{2,1}} = 1 \approx 1,1 \quad (7.23)$$

Pak při zapnutí transformátoru se uplatní SM a hodnota  $I_p$  se změní na:

$$I_{pSM} = (3I \gg \cdot SM) \cdot I_{nPTP} = (2,1 \cdot 1,1) \cdot 200 = 462 \text{ A} \quad (7.24)$$

Podmínka v (7.22) je splněna a ochrana při zapnutí transformátoru nezareaguje. Po odeznění přechodového děje a po zániku dominantní druhé harmonické se funkce deaktivuje. Tímto se hodnota velikosti popudového proudu nastaveného ochranou vrátí z hodnoty (7.24) na původní hodnotu (7.21). Totožné výpočty jsou aplikovány na kobky, které spojují více než 1 transformátor a jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 7.8 Nastavení hodnot SM

Kobka	Počet transformátorů	$3I \gg$ (A)	$I_{cT}$ (A)	$I_p$ (A)	SM (-)	$I_{pSM}$ (A)
3-16	4	2,14	840	428	2,1	900
4-17		2,08	840	416	2,1	874
5-18		2,13	840	427	2,1	896
8-13	2	2,1	420	420	1,1	467
9-12		1,49	262	300		

## 7.4 Kontrola oteplení vodičů při zkratu

Pro kontrolu správnosti nastavení ochran je nutno vypočítat maximální dobu trvání poruchy, kterou kabelové vedení snese bez poškození. Tato doba musí být větší než doba odepnutí poruchy. Musí být tedy dodržena podmínka:

$$t_{od} < t_{max} \quad (7.25)$$

### Prívodní kabel

Prívodní kabely jsou v kobkách 1 a 20. Největší zkratový proud, který musí tento kabel snést, jsme zjistili výpočtem v kapitole 6.1  $I''_{k3} = 11,178 \text{ kA}$ .

Vypínací čas zkratové spouště v těchto kóbkách je:

$$t_{od} = t_{vyp} + t_{CB} = 0,7 + 0,1 = 0,8 \text{ s} \quad (7.26)$$

$t_{vyp}$  - nastavení času zkratové spouště na ochraně v dané kobce

$t_{CB}$  - čas vypínače za který vypne poruchu

Přívodní kabelové vedení má dané parametry:

Tab. 7.9 Parametry přívodního vedení

Typ	S (mm <sup>2</sup> )	l (km)	X (mH/km)	R (Ω/km)
22-N2XS2Y	3x1x240	0,4	0,34	0,106

Součinitel nárazového proudu podle [10]:

$$\kappa = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-\frac{3R}{X}} = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-\frac{3 \cdot 0,09}{0,128}} \cong 1,1 \quad (7.27)$$

Předpokládáme elektrický vzdálený zkrat. Tímto můžeme říct – podle kapitoly 2.2 (viz. ekvivalentní oteplovací proud), že  $n=1$ . Součinitel  $m$  odečteme z Obr. 2.4 za pomoci  $\kappa$  a předpokládaného času trvání zkratu, který je dán nastavením na ochraně  $t_{vyp}$ . Součinitel pro tepelný účinek stejnosměrné složky zkratového proudu je tedy  $m=0,01$ . Z těchto koeficientů podle vzorce (2.9) lze vypočítat ekvivalentní oteplovací proud.

$$I_{th} = I_k'' \sqrt{m + n} = 11,178 \cdot \sqrt{1 + 0,01} = 11,234 \text{ kA} \quad (7.28)$$

Z [13] byly čerpány koeficienty  $K$

$$t_{max} \leq \left( \frac{K \cdot S}{I_{th}} \right) \rightarrow t_{max} \leq \left( \frac{141 \cdot 240}{11234} \right) \rightarrow t_{max} \leq 9,07 \text{ s} \quad (7.29)$$

Podmínka uvedená v (7.25) je tedy splněna a kabel svým průřezem vyhoví na oteplení při zkratu. Pro přehlednost a opakování výpočtu je níže uvedena přehledná tabulka s výpočty oteplení kabelů.

Tab. 7.10 Kontrola oteplení kabelů při zkratu

Odkud	Typ	S (mm <sup>2</sup> )	K (-)	$I_{k3max}$ (kA)	$I_{th}$ (kA)	$t_{od}$ (s)	$t_{max}$ (s)
<b>M6-1</b>	22 N2XS2Y	240	141	11,178	11,234	0,8	9,07
<b>M6-3</b>	22 N2XS2Y	185	141	11,178	11,234	0,6	5,39
<b>M6-4</b>	22 N2XS2Y	185	141	11,178	11,234	0,6	5,39
<b>M6-5</b>	22 N2XS2Y	185	141	11,178	11,234	0,6	5,39
<b>M6-7</b>	22 AXEKVCEY	70	91	11,178	11,234	0,6	0,32
<b>M6-8</b>	22 N2XS2Y	185	141	11,178	11,234	0,6	5,39
<b>M6-9</b>	22 N2XS2Y	185	141	11,178	11,234	0,6	5,39
<b>M6-12</b>	22 N2XS2Y	185	141	11,178	11,234	0,6	5,39
<b>M6-13</b>	22 N2XS2Y	185	141	11,178	11,234	0,6	5,39
<b>M6-14</b>	22 AXEKVCEY	70	91	11,178	11,234	0,6	0,32
<b>M6-16</b>	22 N2XS2Y	185	141	11,178	11,234	0,6	5,39
<b>M6-17</b>	22 N2XS2Y	185	141	11,178	11,234	0,6	5,39
<b>M6-18</b>	22 N2XS2Y	185	141	11,178	11,234	0,6	5,39
<b>M6-20</b>	22 N2XS2Y	240	141	11,178	11,234	0,8	9,07

## 7.5 Finální nastavení ochran

Celkové nastavení ochran v rozvodně M6 průmyslového podniku bude popsáno v níže uvedených tabulkách. Skupinové nastavení nadproudových ochran lze vidět v Tab. 7.11. níže. Pro ověření vypínacích časů byla provedena kontrola oteplení kabelů při maximálním zkratu. Z výsledků z Tab. 7.10 lze vyčíst, že vypínací časy všech kobek vyhovují - mimo vývodní kobky 7 a 14. Tento fakt je způsoben malým průřezem kabelu, který je v těchto vývodních kobkách naveden. Vypínací časy ochran v těchto kobkách musely být sníženy na hodnotu  $t_{\max} < 0,32$  s. Níže nezmíněný parametr *Type of reset curve* je nastaven u všech ochran na hodnotu 1.

Tab. 7.11 Skupinové nadproudové nastavení jednotlivých terminálů

Skupinové nastavení			Přetížení PHLTOC,3I>	Zkrat PHHTOC,3I>>
No.	$p_i$	Parametr	Hodnota	Hodnota
Přívod 1  Přívod 20	750/1	Start Value <sup>1</sup> (xIn)	1,13	2,77
		Star value mult. (-)	1	1
		Time multiplier <sup>2</sup> (-)	0,4	1
		Operate delay time (ms)		700
		Operating curve type <sup>3</sup> (-)	14	5
		Real start value <sup>4</sup> (A)	825	2078
Podélná spojka 11	600/1	Start Value <sup>1</sup> (xIn)	1,18	2,77
		Star value mult. (-)	1	1
		Time multiplier <sup>2</sup> (-)	0,4	1
		Operate delay time (ms)		700
		Operating curve type <sup>3</sup> (-)	14	5
		Real start value <sup>4</sup> (A)	710	1662
Vývod 3  Vývod 16	200/1	Start Value <sup>1</sup> (xIn)	1,175	2,13
		Star value mult. (-)	1	2,1
		Time multiplier <sup>2</sup> (-)	0,4	1
		Operate delay time (ms)		500
		Operating curve type <sup>3</sup> (-)	14	5
		Real start value <sup>4</sup> (A)	235	425
Vývod 4  Vývod 17	200/1	Start Value <sup>1</sup> (xIn)	1,175	2,14
		Star value mult. (-)	1	2,1
		Time multiplier <sup>2</sup> (-)	0,4	1
		Operate delay time (ms)		500
		Operating curve type <sup>3</sup> (-)	14	5
		Real start value <sup>4</sup> (A)	235	430
Vývod 5  Vývod 18	200/1	Start Value <sup>1</sup> (xIn)	1,175	2,08
		Star value mult. (-)	1	2,1
		Time multiplier <sup>2</sup> (-)	0,4	1
		Operate delay time (ms)		500
		Operating curve type <sup>3</sup> (-)	14	5
		Real start value <sup>4</sup> (A)	235	415
Vývod 7	200/1	Start Value <sup>1</sup> (xIn)	0,21	2,05
		Star value mult. (-)	1	1
		Time multiplier <sup>2</sup> (-)	0,4	1
		Operate delay time (ms)		200
		Operating curve type <sup>3</sup> (-)	14	5
		Real start value <sup>4</sup> (A)	42	410

Vývod 8  Vývod 13	200/1	Start Value <sup>1</sup> (xIn)	1,175	2,10
		Star value mult. (-)	1	1,1
		Time multiplier <sup>2</sup> (-)	0,4	1
		Operate delay time (ms)		500
		Operating curve type <sup>3</sup> (-)	14	5
		Real start value <sup>4</sup> (A)	235	420
Vývod 9  Vývod 12	200/1	Start Value <sup>1</sup> (xIn)	1,175	1,5
		Star value mult. (-)	1	1
		Time multiplier <sup>2</sup> (-)	0,4	1
		Operate delay time (ms)		500
		Operating curve type <sup>3</sup> (-)	14	5
		Real start value <sup>4</sup> (A)	235	300
Vývod 14	200/1	Start Value <sup>1</sup> (xIn)	0,21	2,05
		Star value mult. (-)	1	1
		Time multiplier <sup>2</sup> (-)	0,4	1
		Operate delay time (ms)		200
		Operating curve type <sup>3</sup> (-)	14	5
		Real start value <sup>4</sup> (A)	42	410

1 – Hodnota nastavení ochrany

2 – Časová konstanta *k*

3 – Typ charaketristiky 14 – závislá; 5 – nezávislá

4 – Hodnota proudu primární strany JTP, při kterém ochrana vysílá popud

Pro ty kobky, kde může dojít ke chybnému působení ochrany vlivem zapínacího rázu transformátoru, tedy kobky, kde hodnota *start value mult.* > 1 je nutné nastavit funkci INRPHAR,3I2f>. Výpočet hodnot nastavení *start value mult.* ve skupinovém nastavení nadproudových ochran lze vyčíst v Tab. 7.8. Nastavení této funkce bude následující.

Tab. 7.12 Skupinové nastavení funkce INRPHAR

<b>Vývod 3,4,5,8,16,17,18,13</b>	
<b>Skupinové nastavení</b>	<b>Záběrný proud INRPHAR,3I2f&gt;</b>
<b>Parametr</b>	<b>Hodnota</b>
Start value (%)	20
Operate delay time (ms)	20

Posledním nutným nastavením ochran je individuální nastavení všech funkcí ochrany REF 620, které byly použity v této diplomové práci. Nastavení bude následující.

Tab. 7.13 Individuální nastavení všech ochranných funkcí

<b>Individuální nastavení</b>	<b>Přetížení PHLTOC,3I&gt;</b>	<b>Zkrat PHHTOC,3I&gt;&gt;</b>	<b>Záběrný proud INRPHAR,3I2f&gt;</b>
<b>Parametr</b>	<b>Hodnota</b>	<b>Hodnota</b>	<b>Hodnota</b>
Operation	1	1	1
Num. of start phases	1	1	
Min. operate time (ms)	40	40	
Reset delay time (ms)	20	20	20
Measurment mode	1	3	

## 8 Závěr

Výstupem této diplomové práce je nastavení ochran REF 620, které byly zaimplementovány do rozvodny M6 po její modernizaci. V teoretické části je uveden výpočet zkratových proudů, principy chránění elektrického rozvodu elektrickými ochranami a popsán průmyslový podnik. V praktické části jsou vypočteny zkratové proudy podniku a hodnoty nastavení elektrických ochran.

Vypočítané zkratové poměry rozvodny vycházejí z parametrů zařízení v průmyslovém objektu. Výpočtům zkratových proudů rozvodny M6 je věnována kapitola 6. Největší zkratový proud, který může na rozvodně nastat, je třífázový souměrný zkratový proud  $I''_{k3} = 11,117$  kA. Nejmenší zkratový proud rozvodny je dvoufázový nesouměrný zkratový proud  $I''_{k2} = 4,768$  kA.

Pro nastavení parametrů elektrických ochran jednotlivých vývodů byly vypočítány průchozí zkratové proudy transformátorů. Jelikož průchozí zkratové proudy některých transformátorů dosahují hodnot menších než proudy při zapínacím rázu transformátorů, bylo nutno tento fakt ošetřit při nastavení ochran. Výpočty průchozích zkratových proudů jsou v kapitole 6.2. a jednotlivé velikosti těchto proudů lze vidět v následující Tab. 8.1.

Tab. 8.1 Hodnoty průchozích zkratových proudů

Vývody	$I_{k2min}$ (kA)
4-17	0,514
5-18	0,499
8-13	0,510
9-12	0,358
7-T3	0,491
14-T4	0,492

Hlavní ochranná funkce terminálu REF 620, která byla v práci použita, je nesměrová nadproudová funkce. Z této byly použity dva stupně. Stupeň s nižším rozsahem seřaditelnosti PHLTOC,3> slouží pro chránění vývodů před proudovým přetížením. Hodnota proudu, dle kterého je tento stupeň nastaven, vychází buď z maximálního zatížení kabelového vedení, nebo jmenovitého proudu jistícího transformátoru, či jmenovitého proudu transformátoru. Pro obě přívodní kobky byl limitní proud kabelu  $I_{max}=873$  A. Pro vývodní kobky, kde bylo v sérii zapojeno více transformátorů, byla limitní hodnota dána jmenovitým proudem jistícího transformátoru  $I_n=200$  A, kde jistící transformátor snese trvalé zatížení 120%  $I_n$ . Limitní proud vývodních kobek, kde byl zapojen pouze jeden transformátor, byl dán hodnotou proudu tohoto transformátoru  $I_n=42$  A. Mimo vývodů kobek 7 a 14, kde je zapojen pouze jeden transformátor, jsou všechny ochrany vývodů tohoto stupně nastavené pod limitní hodnotu proudu dané kobky. Chránění všech vývodů tohoto stupně je nastaveno podle závislé charakteristiky.

Druhý stupeň s vyšším rozsahem seřaditelnosti PHHTOC,3I>> chrání zařízení před zkraty. Nastavení ochran přívodu a podélné spojky vychází z výpočtu maximálního možného zatížení rozvodny. Limitní hodnoty proudů, podle kterých jsou nastaveny parametry ochrany, dosahují hodnot  $I_{min} = 2500$  A pro přívodní kobky a  $I_{Smin} = 2000$  A pro podélnou spojku. Výpočty těchto proudů jsou rozebrány ve vzorcích (7.3) a (7.4). Proud, dle kterého nastavujeme vývodní kobky, je dán

hodnotou průchozího zkratového proudu dané kobky viz. Tab. 8.1 výše. Chránění všech vývodů tohoto stupně je nastaveno podle nezávislé charakteristiky.

Nastavení ochran v některých kobkách musí být ošetřeno proti chybné reakci ochrany způsobené proudovými zapínacími rázy transformátorů. K tomu slouží funkce INRPHAR,3I2f>, kterou je nutno pro správnou funkčnost zkombinovat právě s nadproudovou funkcí. Jedná se převážně o vývody, kde je v sérii zapojeno více transformátorů. Výpočet parametrů nastavení této funkce je rozebrán v kapitole 7.3. a nastavení hodnot *start value mult.* (SM) ochran pro jednotlivé vývody je znázorněno v Tab. 7.8.

Celkové finální nastavení ochran rozvodny M6 je vylíčeno v tabulkách v kapitole 7.5. V této kapitole jsou uvedeny hodnoty nastavení funkce nadproudové a funkce proti proudovému rázu transformátorů. Nejdůležitější parametry skupinového nastavení nadproudové funkce ochrany REF 620 lze vyčíst z Tab. 7.11, kde lze vidět všechny hodnoty nastavení ochran pro vývodní a přívodní pole rozvodny M6. Individuální nastavení všech použitých funkcí najdeme v Tab. 7.8

Zmíněné nastavení ochran v kapitole 7.5 tvoří plně funkční celek pro ochranu celé rozvodny M6 před přetížením, zkraty a zapínacími rázy transformátorů. Pro úplnost ochrany rozvodny před poruchami by bylo vhodné na ochraně nastavit detekci zemního spojení. Spolu s detekcí zemního spojení bude rozvodna M6 chráněna před základními poruchami, které se nejčastěji ve VN rozvodu elektrické energie vyskytují.

Při změně parametrů rozvodny či průmyslového závodu je nutno terminály přenastavit. Nastavení terminálů REF 620 lze snadno změnit, případně je možno využít další funkce pro chránění rozvodny jako je např. rozdílová ochrana transformátorů, detekce oblouku, selhání výkonového vypínače či zmíněná funkce detekce zemního spojení.

Správná kombinace nastavení jednotlivých ochranných funkcí ochrany nám ušetří finanční náklady a efektivně chrání obsluhu před účinky elektrického proudu v případě poruchy.

## Použitá literatura

- [1] DOHNÁLEK, Petr, *Ochrany pro průmysl a energetiku*, 2., přeprac., vyd, Praha: SNTL, 1991, ISBN 80-030-0630-9,
- [2] HRADÍLEK, Zdeněk, *Elektroenergetika distribučních a průmyslových sítí*, Ostrava: VŠB - Technická Univerzita Ostrava, 2008, ISBN 978-80-248-1696-8,
- [3] MULKA, Josef, *Absolvování individuální odborné praxe*, Ostrava, 2016,
- [4] HELŠTÝN, David, Petr KAČOR a Zdeněk HYTKA, *Elektrické přístroje spínací ochranné a jističí* [online], 1, Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2003 [cit, 2017-10-10], ISBN 80-248-0315-1, Dostupné z: [http://feil.vsb.cz/kat410/studium/studijni\\_materialy/ep/ep\\_II/Elektricke%20%20pristroje%20spinae%ED%20ochranne%20a%20jistici.pdf](http://feil.vsb.cz/kat410/studium/studijni_materialy/ep/ep_II/Elektricke%20%20pristroje%20spinae%ED%20ochranne%20a%20jistici.pdf)
- [5] Jištění VN, *DNA Energie* [online], Kolín: Stopradesign, 2011 [cit, 2017-10-10], Dostupné z: <http://energie.dna.cz/energie/jisteni-efen/>
- [6] HALUZÍK, Evžen, *Ochrany a automatiky v elektrických sítích*, Brno: Ediční středisko VUT Brno, 1985,
- [7] TROJÁNEK, Zdeněk, Josef HÁJEK a Pavol KVASNICA, *Přechodné jevy v elektrizačních soustavách*, Praha: SNTL, 1987,
- [8] VOKÁL, Josef, *Výpočty zkratů v technické praxi* [online], Praha: FEL, 2012 [cit, 2017-11-30], Dostupné z: [https://www.powerwiki.cz/attach/PrilohyVyuka/Vok\\_%20zkraty\\_%20prednaska\\_textFEL.pdf](https://www.powerwiki.cz/attach/PrilohyVyuka/Vok_%20zkraty_%20prednaska_textFEL.pdf)
- [9] ABB INC, *620 series ANSI Technical Manual* [online], 2, Colar Springs, Florida, 2012 [cit, 2017-12-09], Dostupné z: [https://library.e.abb.com/public/3fed1ac90f340a76c1257ab7002230fd/RE\\_620ANSI\\_tech\\_5\\_04801\\_ENa.pdf](https://library.e.abb.com/public/3fed1ac90f340a76c1257ab7002230fd/RE_620ANSI_tech_5_04801_ENa.pdf)
- [10] ČSN EN 60909-0 *Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách - Část 0: Výpočet proudů*, Praha: Český normalizační institut, 2002,
- [11] HAVELKA, Otto, *Elektrické přístroje*, Praha: SNTL, 1985,
- [12] *Energetické kabely* [online], Kladno: nkt cables, 2013 [cit, 2018-02-14], Dostupné z: [http://www.nkt.cz/fileadmin/user\\_upload/Energeticke\\_kabely\\_CZ-EN\\_2013.pdf](http://www.nkt.cz/fileadmin/user_upload/Energeticke_kabely_CZ-EN_2013.pdf)
- [13] *Tabulky pro dimenzování vodičů* [online]. [cit. 2018-03-07]. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~tesarova/PE/Soubory/Dimenzovani-zkraceno.pdf>
- [14] MEDVEC, Zdeněk. *Přechodné jevy v elektrizačních soustavách*. Ostrava: Skripta VŠB-TU, 2001.
- [15] RUSEK, Stanislav. *Teoretická Elektroenergetika*. Ostrava: Skripta VŠB-TU, 2011.
- [16] KRIEBEL, Vojtěch. *Návrh a nastavení elektrických ochran v průmyslovém podniku*. Ostrava, 2010. Diplomová práce. VŠB-TU Ostrava.



## **Přílohy**

Přílohy jsou dostupné na přiloženém CD